

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA (CCGT)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DO
CAMPUS SOROCABA

Jayson Wilson Barretti

**PROPOSIÇÃO DE UMA ARQUITETURA BASEADA NA TECNOLOGIA
BLOCKCHAIN PARA LOGÍSTICA REVERSA: UM ESTUDO EM UMA
INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA**

Sorocaba

2024

Jayson Wilson Barretti

**PROPOSIÇÃO DE UMA ARQUITETURA BASEADA NA TECNOLOGIA
BLOCKCHAIN PARA LOGÍSTICA REVERSA: UM ESTUDO EM UMA
INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Campus Sorocaba para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientação: Prof.^a Dr.^a Juliana Veiga Mendes

Sorocaba

2024

Barretti, Jayson Wilson

Proposição de uma arquitetura baseada na tecnologia blockchain para logística reversa: um estudo em uma indústria de painéis de madeira / Jayson Wilson Barretti -
- 2024.
130f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba
Orientador (a): Juliana Veiga Mendes
Banca Examinadora: Yeda Regina Venturini, Kleber Francisco Espôsto
Bibliografia

1. Gestão de Resíduos e Materiais. 2. Arquitetura blockchain. 3. ESG. I. Barretti, Jayson Wilson. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Jayson Wilson Barretti, realizada em 05/04/2024.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Juliana Veiga Mendes (UFSCar)

Prof. Dr. Kleber Francisco Esposto (USP)

Profa. Dra. Yeda Regina Venturini (UFSCar)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

JAYSON WILSON BARRETTI

PROPOSIÇÃO DE UMA ARQUITETURA BASEADA NA TECNOLOGIA
BLOCKCHAIN PARA LOGÍSTICA REVERSA: UM ESTUDO EM UMA INDÚSTRIA DE
PAINÉIS DE MADEIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Campus Sorocaba para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador(a)

Dr. (a) Juliana Veiga Mendes

Universidade Federal de São Carlos *campus* Sorocaba

Examinador(a)

Dr. (a) Yeda Regina Venturini

Universidade Federal de São Carlos *campus* Sorocaba

Examinador(b)

Dr. Kleber Francisco Espôsto

Universidade de São Paulo

Dedico este trabalho a minha amada esposa Giselle e a minha filha tão esperada Lina, por todo amor, carinho, compreensão e apoio em tantos momentos difíceis desta caminhada. Obrigado por permanecer ao meu lado, mesmo sem os carinhos rotineiros e sem a atenção devida. O amor de vocês alimenta a minha vida!

AGRADECIMENTO

Agradeço a minha família, por todo suporte durante minha trajetória acadêmica e por compreenderem minhas ausências necessárias ao desenvolvimento desse trabalho.

À Sarah Maud Gosselin, diretora da Assembleia Nacional do Québec, pela força e compreensão que me ajudaram a perseverar.

A minha orientadora Prof.^a Dr.^a Juliana Veiga Mendes, por ter aceitado e abraçado minha ideia e me guiado com maestria durante esse processo.

Ao Prof. Dr. Diogo Aparecido Lopes Silva, um grande amigo e inspiração de dedicação à vida acadêmica que me incentivou nesta jornada.

Ao Prof. Dr. Luis Antonio de Santa-Eulália que me encorajou em acreditar na perfeita harmonia entre as áreas da Engenharia e da Tecnologia da Informação.

Aos membros da banca, Prof.^a Dr.^a Yeda Regina Venturini e Prof. Dr. Kleber Francisco Espôsto, pelas contribuições que certamente enriqueceram e direcionaram esta versão final.

Enfim, agradeço a todas as pessoas que fizeram parte desta etapa decisiva da minha vida.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

RESUMO

BARRETTI, Jayson Wilson. Título: Proposição de uma arquitetura baseada na tecnologia blockchain para Logística Reversa: Um estudo em uma Indústria de Painéis de Madeira. 2024. Dissertação (Mestrado) em Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Federal de São Carlos *campus* Sorocaba, Sorocaba, 2024.

Diante da crise ambiental resultante do consumo desenfreado de recursos naturais e da falta de reaproveitamento de materiais e resíduos, as organizações assumem a responsabilidade de adotar medidas impactantes para mitigar danos ao meio ambiente e à sociedade. A convergência de aspectos ambientais, sociais e de governança, através do ESG, é essencial para promover a resiliência sustentável. Neste contexto, o presente estudo propõe uma arquitetura baseada na tecnologia *blockchain* para integrar resíduos de volta ao processo de produção em empresas manufatureiras. Os objetivos incluem identificar e aplicar arquiteturas *blockchain* para facilitar esse retorno, visando investigar seu suporte à Logística Reversa e ao Planejamento da Produção, criando um ecossistema tecnológico seguro e descentralizado para transmitir dados em tempo real e para rastrear materiais, promovendo a reutilização de resíduos e impulsionando a sustentabilidade. O método adotado abrange uma pesquisa teórica para embasar os temas abordados, a proposição da arquitetura *blockchain* para viabilizar o retorno de materiais à manufatura e sua aplicação conceitual em uma indústria de painéis de madeira reconstituída. A delimitação do trabalho é fundamentada em uma pesquisa teórica e uma revisão sistemática da literatura, estabelecendo critérios para análise de conteúdo e relato dos resultados na proposta de uma arquitetura conceitual e sua exemplificação teórica de aplicação na indústria citada. A literatura especializada destaca a *blockchain* como vantajosa para participantes de cadeias de suprimentos reversas, contudo, não há estudos sobre sua aplicação na manufatura, especialmente por meio da Logística Reversa. Esta pesquisa conclui a relevância da tecnologia *blockchain* para o gerenciamento sustentável da cadeia de suprimentos, oferecendo percepções valiosos para a Ciência ao explorar suas capacidades de rastreabilidade e transparência. A implicação em promover práticas sustentáveis e em reduzir o consumo de recursos naturais pode gerar sociedades mais sustentáveis. Neste interim, a integração da *blockchain* com outras tecnologias emergentes oferece oportunidades para redesenhar processos, aumentar a eficiência e adotar modelos de negócios mais sustentáveis para gestores e organizações.

Palavras-chave: Gestão de Resíduos e Materiais; Gestão da Cadeia de Suprimentos, Planejamento e Controle da Produção; ESG

ABSTRACT

BARRETTI, Jayson Wilson. Title: Proposal of an architecture based on blockchain technology for Reverse Logistics: A study in a Wood Panel Industry. 2024. Dissertation (Master's Degree) in Postgraduate Program in Production Engineering – Federal University of São Carlos Sorocaba campus, Sorocaba, 2024.

Given the environmental crisis resulting from the rampant consumption of natural resources and the lack of material and waste reuse, organizations are taking responsibility for adopting impactful measures to mitigate environmental and societal damage. The convergence of environmental, social, and governance aspects through ESG is essential for promoting sustainable resilience. In this context, the present study proposes a blockchain-based architecture to reintegrate waste into the production process in manufacturing companies. Objectives include identifying and applying blockchain architectures to facilitate this return, aiming to investigate their support for reverse logistics and production planning, creating a secure and decentralized technological ecosystem for real-time data transmission and material tracking, promoting waste reuse, and driving sustainability. The methodology adopted encompasses theoretical research to substantiate the topics addressed, the proposition of the blockchain architecture to enable the return of materials to manufacturing, and its conceptual application in a reconstituted wood panel industry. The delimitation of the work is based on theoretical research and a systematic literature review, establishing criteria for content analysis and reporting of results in the proposal of a conceptual architecture and its theoretical exemplification of application in the cited industry. Specialized literature highlights blockchain as advantageous for participants in reverse supply chains; however, there are no studies on its application in manufacturing, especially through reverse logistics. This research concludes the relevance of blockchain technology for sustainable supply chain management, offering valuable insights to science by exploring its traceability and transparency capabilities. The implications of promoting sustainable practices and reducing natural resource consumption can foster more sustainable societies. In the meantime, integrating blockchain with other emerging technologies offers opportunities to redesign processes, increase efficiency, and adopt more sustainable business models for managers and organizations.

Keywords: Waste and Material Management; Supply Chain Management, Production Planning and Control; ESG

LISTA DE FIGURAS / LISTA DE TABELAS/ LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Macro etapas da Pesquisa.....	22
Figura 2 – Fases da RSL	25
Figura 3 – Fase (3): Execução da Revisão Sistemática para a seleção de artigos elegíveis	27
Figura 4 – Nuvem de palavras dos artigos elegíveis	31
Figura 5 – Criação e execução do Contrato Inteligente na rede <i>blockchain</i>	37
Figura 6 – Logística Reversa no processo de retorno de resíduos à Manufatura	53
Figura 7 – Modelagem conceitual do cenário futuro de retorno de resíduos à manufatura	54
Figura 8 – Arquitetura <i>blockchain</i> para o retorno de resíduos à Manufatura.....	56
Figura 9 – Localização das plantas fabris e dos principais polos moveleiros do Brasil.....	61
Figura 10 – Produto final e itens de embalagem	62
Figura 11 – Ciclo de vida de itens de embalagem com disposição final em aterro sanitário ...	63
Figura 12 – Arquitetura baseada na tecnologia <i>blockchain</i> para o retorno de itens de embalagens à empresa ALFA.....	66
Figura 13 – Cadeia de Suprimentos Sustentável com Logística Reversa.....	68
Figura 14 – Modelagem conceitual do cenário futuro de retorno de itens de embalagens à ALFA	69
Figura 15 – Simulação do cálculo do crédito sustentável	71
Figura 16 – Geração do crédito sustentável na arquitetura <i>blockchain</i>	74
Figura 17 – Palavras-chave semelhantes identificadas pelo VOSviewer (versão 1.6.18).....	90
Figura 18 – Variantes identificadas no mapa bibliométrico do 1º teste na base Scopus	91
Figura 19 – Variantes identificadas no mapa bibliométrico do 2º teste na base Scopus	92
Figura 20 – Variantes identificadas no mapa bibliométrico do 3º teste na base Scopus	93
Figura 21 – Variantes identificadas no mapa bibliométrico do 1º teste na base WoS	95
Figura 22 – Variantes identificadas no mapa bibliométrico do 2º teste na base WoS	96
Figura 23 – Variantes identificadas no mapa bibliométrico do 3º teste na base WoS	97
Figura 24 – Bloco gerado com código hash provisório e bloco validade com código hash permanente.....	129
Figura 25 – O SHA-256 na cadeia de blocos da rede <i>blockchain Peer-to-Peer</i>	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Protocolo de pesquisa teórica nas bases <i>Scopus</i> e <i>Web of Science</i>	26
Tabela 2 – Evolução da <i>blockchain</i> no Gerenciamento Sustentável da Cadeia de Suprimentos	38
Tabela 3 – Estrutura das arquiteturas baseadas na <i>blockchain</i> e tecnologias envolvidas.....	47
Tabela 4 – 1º teste na base de dados Scopus	91
Tabela 5 – 2º teste na base de dados Scopus	92
Tabela 6 – 3º teste na base de dados Scopus	93
Tabela 7 – 1º teste na base de dados <i>Web of Science</i>	94
Tabela 8 – 2º teste na base de dados <i>Web of Science</i>	95
Tabela 9 – 3º teste na base de dados <i>Web of Science</i>	96
Tabela 10 – Métricas JCI e CS dos artigos e periódicos elegíveis	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abimóvel	Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
API	<i>Application Programming Interface</i>
CredSust	Crédito Sustentável
CustoUnitResíduo	Custo Unitário do resíduo
CustoUnitCapa	Custo Unitário da capa
CustoUnitPontaleta	Custo Unitário do pontalete
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
ESG	<i>Environmental, Social and Governance</i>
ETL	<i>Extract, Transform and Load</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
I4.0	Indústria 4.0
IoT	<i>Internet of Things</i>
LAD	Localização, Agilidade e Digitalização
LR	Logística Reversa
MPD	<i>Medium Density Particleboard</i>
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MG	Minas Gerais
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
nonce	<i>number user only once</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
P2P	<i>Peer-to-Peer</i>
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PoS	<i>Proof-of-Stake</i>
PoW	<i>Proof-of-Work</i>
QR	<i>Quick Response</i>
QtdeCapa	Quantidade de Capas disponível em estoque
QtdePontaleta	Quantidade de Pontaletes disponível em estoque
REST	<i>Representational State Transfer</i>
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
RPC	<i>Remote Procedure Call</i>

RQ	Rendimento de Qualidade
RS	Rio Grande do Sul
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
SHA	<i>Secure Hash Algorithm</i>
SOAP	<i>Simple Object Access Protocol</i>
SP	São Paulo
TMS	<i>Transportation Management System</i>
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
WMS	<i>Warehouse Management Software</i>
WoS	<i>Web of Science</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Contextualização	17
1.2	Problemática	18
1.3	Objetivos geral e específicos	20
1.4	Delimitação do trabalho	20
1.5	Estrutura do trabalho	21
2	MÉTODOS.....	22
2.1	Pesquisa Teórica (1ª etapa).....	23
2.1.1	Descrevendo as fases da RSL - Revisão Sistemática da Literatura	23
2.1.1.1	Formulação da questão de pesquisa e Fase (2) - Planejamento da RSL	23
2.1.1.2	Fase (3) – Execução da RSL	27
2.1.1.3	Fase (4) – Reportando os resultados da RSL	28
2.2	Pesquisa bibliográfica complementar.....	29
2.3	Desenvolvimento da Arquitetura baseada na tecnologia <i>blockchain</i> (2ª etapa).....	29
2.4	Aplicação conceitual da Arquitetura <i>blockchain</i> , análise e discussão dos resultados (3ª etapa) 29	
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	31
3.1	DESCREVENDO O PROCESSO DE PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO	33
3.2	DESAFIOS DA LOGÍSTICA REVERSA	34
3.3	CARACTERIZANDO A TECNOLOGIA <i>BLOCKCHAIN</i>	35
3.3.1	Contrato Inteligente	36
3.4	EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA <i>BLOCKCHAIN</i> NO GERENCIAMENTO SUSTENTÁVEL DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	38
3.5	ARQUITETURAS IMPLEMENTÁVEIS BASEADAS NA TECNOLOGIA <i>BLOCKCHAIN</i>	46
3.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	51
4	DESENVOLVIMENTO DA ARQUITETURA BASEADA NA TECNOLOGIA <i>BLOCKCHAIN</i>	53
4.1	DETALHANDO A CAMADA DE INFRAESTRUTURA	57
4.2	DETALHANDO A CAMADA DE INTEGRAÇÃO <i>BLOCKCHAIN-CLOUD</i>	57
4.3	DETALHANDO A CAMADA MANUFATURA E CAMADA USUÁRIO.....	60
4.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE A ARQUITETURA PROPOSTA	60
5	INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA.....	61

6	RESULTADOS E DISCUSSÕES: IMPLEMENTAÇÃO CONCEITUAL DA ARQUITETURA BLOCKCHAIN PROPOSTA.....	65
6.1	DETALHANDO O CRÉDITO SUSTENTÁVEL PARA OS FABRICANTES DE MÓVEIS	71
6.2	BENEFÍCIOS DA ARQUITETURA <i>BLOCKCHAIN</i> PARA A EMPRESA ALFA	72
6.3	BENEFÍCIOS DA ARQUITETURA <i>BLOCKCHAIN</i> PARA AS TRANSPORTADORAS	75
7	CONCLUSÃO	77
7.1	A TECNOLOGIA <i>BLOCKCHAIN</i> E O SUPORTE AOS PROCESSOS DA LOGÍSTICA REVERSA..	77
7.2	AS CONTRIBUIÇÕES DA TECNOLOGIA <i>BLOCKCHAIN</i> À CIÊNCIA, À SOCIEDADE E ÀS ORGANIZAÇÕES.....	78
	REFERÊNCIAS.....	80
	APÊNDICE A – REFINAMENTO DA EXPRESSÃO DE BUSCA	90
	APÊNDICE B – CLASSIFICAÇÃO DOS PERIÓDICOS SELECIONADOS	98
	APÊNDICE C – CORPUS TEXTUAL IRAMUTEQ	104
	APÊNDICE D – TECNOLOGIA BLOCKCHAIN	128

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se uma visão holística do trabalho, partindo de uma breve contextualização sobre o tema. Na sequência, apresenta-se a problemática, a questão de pesquisa, os objetivos, e, por fim, a estrutura do trabalho como um todo.

1.1 Contextualização

A sociedade está cada mais vez consciente da importância de exercer boas práticas ambientais e sociais nas organizações e no mercado. As questões ambientais, incluindo o esgotamento dos recursos naturais e a perda da biodiversidade, têm sido motivo de preocupação para a sociedade nas últimas décadas (Khadke et al., 2021) e que imputam responsabilizadas por ações impactantes ao meio ambiente às organizações (Zhang et al., 2019).

Segundo a Organização das Nações Unidas (2004), faz-se necessário a convergência dos fatores ambientais, sociais e de governança – para que, as organizações e os mercados sejam mais fortes e resilientes, além de contribuir para o desenvolvimento sustentável das sociedades. Isso é validado pelas práticas ESG (do inglês, *Environmental, Social and Governance*), que salientam a urgência do desenvolvimento de diretrizes e recomendações sobre como integrar melhor as questões ambientais, sociais e de governança corporativa para que sejam melhor gerenciadas e façam parte da gestão das empresas, necessárias para que possam competir com sucesso. Este conjunto de diretivas relacionadas à gestão de empresas e à forma como elas se posicionam no mercado, serve como parâmetro de sustentabilidade e ressalta a importância de haver um diálogo com as partes interessadas sobre as formas de implementar as recomendações e de como estes atores contribuirão diretamente para a integração das questões ambientais, sociais e de governança nas decisões de investimento e de melhorias significativas que possam efetivamente ser alcançadas buscando, deste modo, sociedades mais sustentáveis (Organização das Nações Unidas, 2004).

As organizações, no cenário exposto, devem buscar o uso consciente de recursos naturais ancoradas em modelos de negócios baseados na otimização de processos de manufatura menos dependentes de matéria-prima virgem, com ênfase na reutilização de materiais e resíduos (Khanfar et al., 2021; Bekrar et al., 2021) e, consequentemente, no reabastecimento de estoques de matéria-prima. Este reabastecimento deve ser considerado durante o processo de planejamento (Kayikci et al., 2022) que consiste no planejamento de médio prazo de uma organização e busca, por sua vez, equilibrar a capacidade produtiva de uma empresa com a demanda de clientes (Hartzel e Wood, 2017), face às incertezas do mercado (Ghobakhloo, 2018). Para tal finalidade, o gerenciamento eficiente do retorno de resíduos requer ferramentas

e processos reversos confiáveis para executar o reaproveitamento dos mesmos, contrário ao modelo linear de disposição final em aterros, (Kayikci et al., 2022).

Este conceito assenta na reutilização, recuperação e reciclagem de materiais tendo em vista a importância da Logística Reversa (LR) como atividade-chave do retorno de resíduos até o ponto de origem da matéria-prima em uma cadeia de suprimentos de ciclo fechado (Çetin et al., 2021; Khadke et al., 2021; Magrini et al., 2021; Shih et al., 2021). Segundo Tan et al. (2020), a implementação de práticas sustentáveis ao fluxo logístico, leva à mitigação de impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade. Sob outro enfoque, a LR ocupa um papel fundamental na sustentabilidade permitindo que ações ambientais sejam realizadas através de um conjunto de procedimentos e meios de coleta, separação, armazenamento, desmontagem e reutilização de resíduos (Bekrar et al., 2021; Dasaklis et al., 2020), do pós-venda e do pós-consumo, garantindo uma melhoria no desempenho da reciclagem (Oropallo et al., 2021).

De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário (Abimóvel, 2022), os setores de painéis de madeira MDF e MDP desempenham um papel crucial na economia brasileira, impulsionando o setor moveleiro e a construção civil. No entanto, é fundamental reconhecer a importância dos processos de reciclagem e da redução do consumo de recursos naturais para garantir a sustentabilidade dessas indústrias. Segundo a Abimóvel (2022), investir em práticas de reciclagem dos resíduos desses materiais e promover a utilização de fontes renováveis de matéria-prima contribui para minimizar o impacto ambiental da produção. Assim, ao integrar estratégias de reciclagem e redução do consumo de recursos naturais em suas operações, os setores de MDF e MDP podem não só impulsionar a economia, mas também promover as práticas ESG (Abimóvel, 2022).

1.2 Problemática

A LR enfrenta desafios e problemas em obter informações precisas e em tempo real de resíduos referentes a sua qualidade, quantidade e posição geográfica para que o retorno dos mesmos possa ser executado com transparência e segurança dos dados trocados entre os membros da cadeia de suprimentos (Tijan et al., 2019). Segundo estes autores, a falta de rastreabilidade e de confiabilidade das informações nas cadeias de suprimentos e fluxos reversos resultam em obstáculos nos processos de retorno e reciclagem de materiais. Além disso, Tijan et al. (2019) ainda ressaltam que problemas relativos a atrasos de entrega, erros em pedidos, sobrecarga de trabalho dos operadores logísticos e impactos ambientais causados pela emissão de combustíveis fósseis, característicos ao processo logístico tradicional, são desafios econômicos, sociais e ambientais enfrentados por cadeias de suprimentos em fluxos reversos.

Desta forma, para que uma organização possa implementar a LR para o retorno de materiais e resíduos e assegurar o reabastecimento de estoques de matérias-primas no processo de planejamento como coloca Olhager (2013) com o objetivo final de reduzir o consumo de matéria-prima virgem e, assim, mitigar potenciais impactos ambientais (Alexandris et al., 2018), faz-se necessário a utilização de meios que viabilizem a rastreabilidade precisa e em tempo real de resíduos durante as atividades da LR ao longo da cadeia de suprimentos (Dietrich et al., 2021).

Por esta razão, a tecnologia *blockchain* vem se apresentando como uma solução potencial uma vez que oferece transparência e visibilidade no compartilhamento de informações em tempo real permitindo a rastreabilidade de materiais nos processos logísticos em ambientes descentralizados e registros de dados e transações imutáveis e seguras para todos os membros da cadeia de suprimentos (Dasaklis et al., 2020). A tecnologia também permite, segundo Rejeb et al. (2022), o desenvolvimento de uma arquitetura para o gerenciamento de uma cadeia de suprimentos que permite o reaproveitamento de resíduos, anteriormente descartados em aterros, reduzindo consequentemente o consumo de recursos naturais destinados a este fim.

Neste contexto, os recursos potenciais da tecnologia *blockchain* podem abrir caminho para reutilização, reciclagem e iniciativas que se endereçam à reutilização de materiais ou resíduos para a criação de novos produtos, diferentemente da qual estes materiais foram inicialmente projetados evitando o desperdício de materiais eventualmente úteis (Rejeb et al., 2022). Os autores também destacam que a *blockchain* pode permitir o compartilhamento ponto a ponto de informações sobre produtos em processos logísticos reversos de forma descentralizada. As características principais da tecnologia *blockchain* podem auxiliar a eliminar os desafios encontrados na reutilização de resíduos por meio da LR (Böckel et al., 2021).

A reciclagem e a reutilização de produtos e resíduos são essenciais para o desenvolvimento de cadeias de suprimentos sustentáveis nas quais a rastreabilidade fornece com precisão as informações ponto a ponto sobre a localização e a quantidade de produtos, viabilizando, portanto, os processos em ciclos fechados (Khadke et al., 2021). Desta forma, a reutilização de resíduos é fundamental para o desenvolvimento de cadeias de suprimentos sustentáveis (Böckel et al., 2021). Para que isso aconteça, a rastreabilidade permite obter as informações precisas sobre a localização e a quantificação de produtos viabilizando, portanto, os processos reversos em ciclos fechados da cadeia de suprimentos (Khadke et al., 2021).

Portanto, a literatura vem apresentando a tecnologia *blockchain* como uma grande vantagem para membros de cadeias de suprimentos reversas que estejam abordando problemas logísticos de diferentes perspectivas e lidando com mais de uma operação inter-relacionada dentro do sistema (Jraisat et al., 2022). E assim, algumas soluções ou arquiteturas vem sendo propostas com esse intuito, como a arquitetura proposta por Zhang et al. (2019) que apresenta uma solução à complexidade do rastreamento de produtos ao longo da cadeia de suprimento e ao compartilhamento seguro e confiável de dados para a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de forma descentralizada ou mesmo no trabalho desenvolvido por Tan et al. (2020) a arquitetura *blockchain* é descrita com o objetivo de minimizar os desafios intrínsecos aos processos logísticos referentes ao atraso de pedidos e entrada múltipla de dados no gerenciamento da cadeia de suprimentos. Também com neste cenário, Ismail et al. (2021) apresentam a arquitetura de integração da *blockchain* com a tecnologia da computação da nuvem na qual fornece soluções para atender às preocupações de segurança da nuvem em função de descentralização da tecnologia *blockchain* aliada à escalabilidade da computação na nuvem. Porém, durante a revisão da literatura, não foram identificados estudos que contemplem a aplicação da arquitetura *blockchain* nas atividades da Manufatura considerando o retorno e reaproveitamento de resíduos e materiais no processo de planejamento da produção viabilizados pela LR.

Considerando o exposto, esta pesquisa é norteada pelo seguinte questionamento:

Como a tecnologia blockchain pode suportar a Logística Reversa e contribuir para o processo de planejamento da produção de uma empresa?

1.3 Objetivos geral e específicos

Para responder esta pergunta, o objetivo geral desta pesquisa é propor uma arquitetura baseada na tecnologia *blockchain* que suporte o retorno de resíduos e alimente o processo de planejamento da produção de uma empresa manufatureira.

Como objetivos específicos:

- Identificar as arquiteturas baseadas na tecnologia *blockchain* que permitem o retorno de resíduos e materiais em estado de reutilização ora destinados a aterros sanitários;
- Ilustrar conceitualmente o uso da arquitetura *blockchain* proposta em uma empresa.

1.4 Delimitação do trabalho

Este estudo foi realizado com base na pesquisa teórica fundamentadas nas etapas propostas por Garza-Reyes (2015) e Tranfield et al. (2003) nas quais se faz um estudo de escopo para delimitação do trabalho por meio da definição da estratégia da Revisão Sistemática da

Literatura baseada na definição da questão da pesquisa, do protocolo da revisão, bem como dos critérios para inclusão e exclusão de artigos e a condução da revisão que determinou, por sua vez, as palavras-chave e termos de pesquisa para obtenção de artigos elegíveis para análise de conteúdo (Bardin, 2011) e reporte dos resultados.

Ressalta-se que a pesquisa não incluirá a implementação da arquitetura proposta, ou seja, trata-se, portanto, de uma arquitetura conceitual.

1.5 Estrutura do trabalho

Este tópico fornece uma visão da estrutura do presente trabalho e está dividido em seis capítulos sendo este o primeiro capítulo, com caráter introdutório, onde contextualiza-se com o tema da pesquisa e apresenta-se a problemática bem como a questão de pesquisa e os objetivos propostos. O segundo capítulo fornece uma visão dos métodos de pesquisas empregadas para responder à questão de pesquisa, bem como o escopo direcionador da dissertação. No terceiro capítulo aborda-se a fundamentação teórica do trabalho baseada em uma revisão sistemática com foco na evolução da tecnologia *blockchain* na gestão da cadeia de suprimentos considerando a Sustentabilidade. O quarto capítulo apresenta a arquitetura baseada na tecnologia *blockchain* para o retorno de resíduos e materiais para a Manufatura. O quinto apresenta a indústria de painéis de madeira ALFA que faz parte do estudo de caso deste trabalho. O sexto capítulo contempla os resultados e discussões obtidos com a aplicação da arquitetura *blockchain* proposta para o retorno de itens de embalagens através da LR visando melhorar o desempenho sustentável de uma organização do setor moveleiro. E por fim, o sétimo capítulo abrange as conclusões do trabalho.

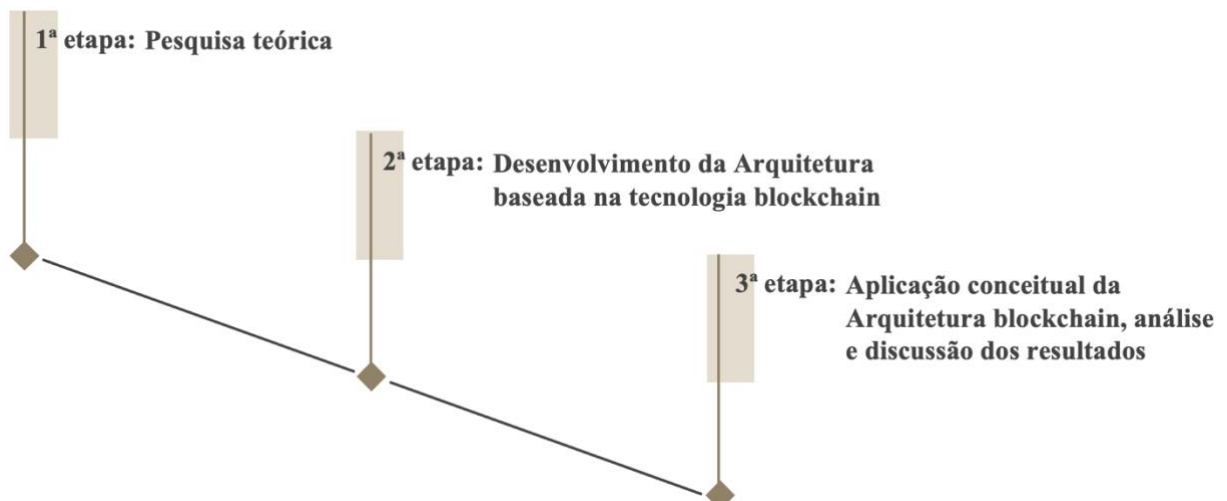
2 MÉTODOS

Uma vez que o objetivo geral desta pesquisa é propor uma arquitetura baseada na tecnologia *blockchain* que suporte o retorno de resíduos e alimente o processo de planejamento de uma empresa manufatureira, este estudo compreendeu primeiramente uma pesquisa teórica (1ª etapa) com o intuito de fundamentar os temas principais tratados neste estudo. Os resultados desta etapa são apresentados no próximo capítulo deste trabalho.

Conhecidos os estudos científicos sobre o tema e observado que as arquiteturas existentes não suportam as atividades de manufatura e planejamento, fez-se a proposição de uma arquitetura baseada na tecnologia *blockchain* com o intuito de viabilizar os processos de retorno e reutilização de materiais e resíduos à manufatura por meio da LR para uma indústria do setor de painéis de madeira, aqui denominada ALFA, como estudo de caso exploratório (Yin, 2001) deste trabalho. Yin (2001) destaca que os estudos de caso são adequados para proporcionar uma compreensão aprofundada de eventos bem como de suas inter-relações. Segundo o autor, a coleta de dados preliminares pode ser ajustada à medida que novas informações surgem, ou seja, a abordagem é flexível e aberta, permitindo uma exploração livre do assunto. A Figura 1, apresentada a seguir, sintetiza as três macros etapas que serão detalhadas adiante. As fases definidas, portanto, são apresentadas a seguir.

Para a caracterização da indústria ALFA e sua rede de clientes foram coletadas informações com a Gerência Comercial de Vendas. Para o desenvolvimento da solução, portanto, foram analisadas as arquiteturas encontradas e suas estruturas. Após essa análise a solução foi proposta. A seção 5 caracteriza o cenário para o qual essa solução poderá ser implementada como estudo de caso.

Figura 1 – Macro etapas da Pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor

2.1 Pesquisa Teórica (1ª etapa)

Considerando o objetivo deste estudo e os temas principais envolvidos, a pesquisa teórica teve duas frentes. A primeira frente foi a execução de uma Revisão Sistemática na Literatura (RSL), detalhada na seção 2.1.1, que permitiu desenvolver uma pesquisa ampla na literatura através de expressões e critérios de busca específicos, detalhados na Tabela 1 e, reproduzíveis com o intuito de ressaltar o rigor necessário para a análise metodológica dos estudos existentes, identificando evidências ou mesmo ampliando a possibilidade de novos estudos (Tranfield et al., 2003). A RSL baseou-se na análise de artigos elegíveis que sintetizem os relacionamentos e conexões entre a tecnologia *blockchain* e sua implementação no gerenciamento sustentável de cadeias de suprimentos, além de evidenciar algumas barreiras relevantes para sua adoção e implementação. Assim foram mapeados os estudos que sintetizam os relacionamentos e conexões entre a tecnologia *blockchain* e sua implementação em cadeias de suprimentos sustentáveis. A revisão da literatura permitiu traçar a evolução cronológica sobre uso dessa tecnologia nas cadeias de suprimentos, identificar e compreender as arquiteturas *blockchain* já existentes bem como as aplicações, e reconhecer as barreiras para a adoção e implementação da tecnologia da *blockchain*. Além da RSL foi realizada uma pesquisa complementar, detalhada na seção 2.1.2 adiante. Nesta pesquisa complementar aplicou-se a abordagem *snowballing* para o embasamento científico dos assuntos relacionados ao estudo, além de uma pesquisa bibliográfica sobre planejamento da produção e LR, temas esses relevantes para fundamentar o contexto desta pesquisa.

2.1.1 Descrevendo as fases da RSL - Revisão Sistemática da Literatura

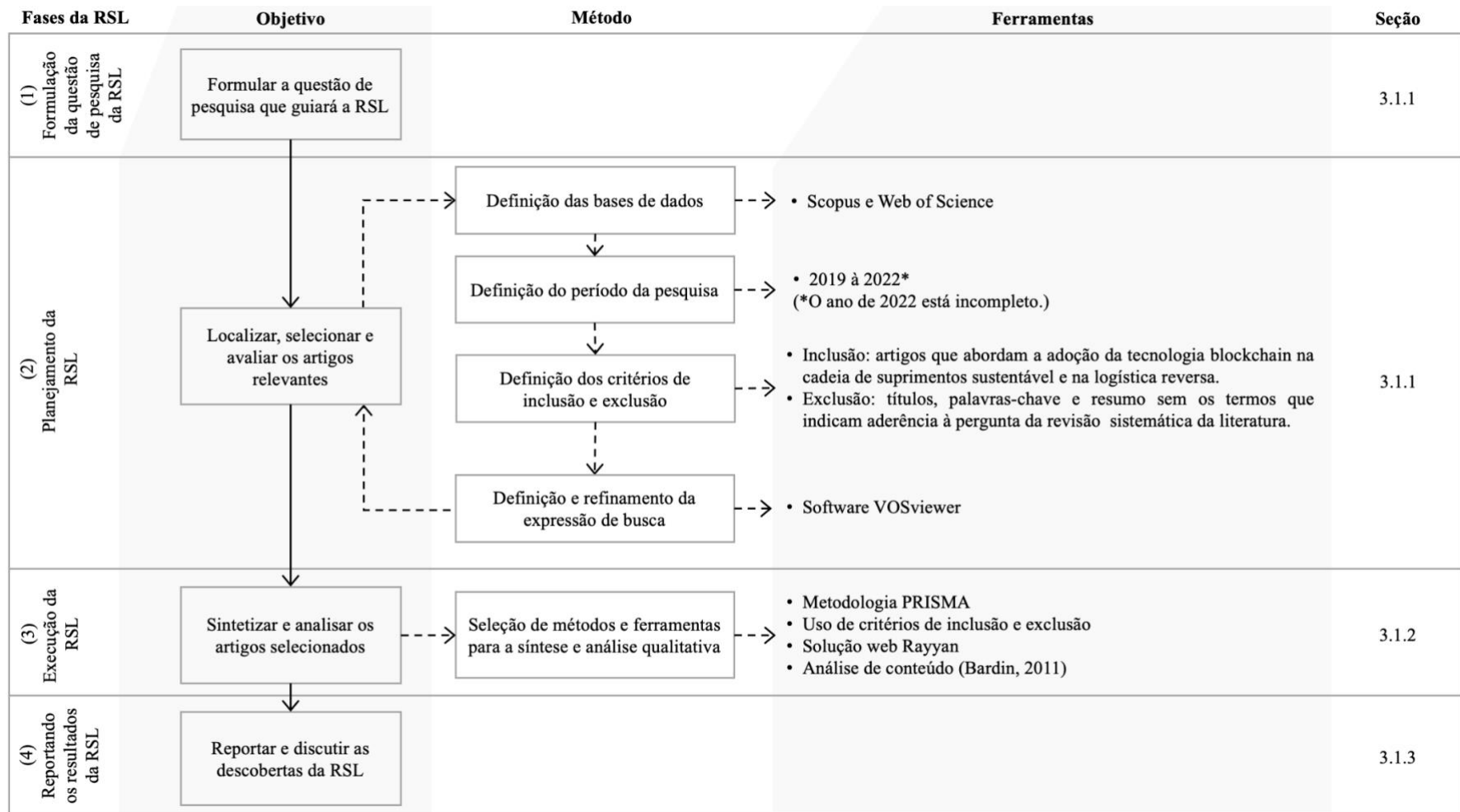
A estrutura da RSL, adaptada de Tranfield et al. (2003), é ilustrada na Figura 2, sendo composta por quatro fases: (1) Formulação da questão de pesquisa; (2) Planejamento da RSL; (3) Execução da RSL e (4) Reportando os resultados. O detalhamento das fases (1) e (2) da RSL está apresentado a seguir. As fases (3) e (4) são reportadas nas seções 2.1.1.2 e 2.1.1.3, respectivamente.

2.1.1.1 Formulação da questão de pesquisa e Fase (2) - Planejamento da RSL

A RSL teve como objetivo identificar aplicações da tecnologia *blockchain* em processos e práticas sustentáveis no gerenciamento da cadeia de suprimentos e foi norteadada pelo seguinte

questionamento: *Quais são as aplicações da tecnologia blockchain no Gerenciamento Sustentável da Cadeia de Suprimentos?*

Figura 2 – Fases da RSL



Fonte: Adaptada de Garza-Reyes (2015) e Tranfield et al. (2003)

A *fase (2) Planejamento da RSL* fornece o alicerce para a execução da pesquisa exploratória com o intuito de responder à questão de pesquisa deste estudo. O protocolo desta fase compreende as informações referentes às bases de dados selecionadas, a definição do período da pesquisa e dos critérios de inclusão e exclusão de artigos e, o refinamento da expressão de busca da pesquisa exploratória com o auxílio do *software* VOSviewer. As bases de dados *Scopus* e *Web of Science* (WoS), selecionadas nesta RSL, estão entre as bases geralmente utilizadas para análise bibliométrica, segundo Steinhardt et al. (2017), além da WoS possuir uma forte cobertura com dados de citações e bibliográficos que remontam a 1990, trazendo abrangência ao estudo (Mascarenhas et al., 2018).

Inicialmente, a expressão de busca considerou variantes relacionadas às palavras principais “*blockchain*” e “gestão da cadeia de suprimentos sustentável”, descritas na questão da pesquisa, para que fossem encontrados artigos que abordam a aplicação da tecnologia “*blockchain*” em cadeias de suprimentos sustentáveis com práticas de LR conforme orientações de Steinhardt et al. (2017). O processo de elaboração da expressão de busca foi baseado na análise dos dados e na elaboração das redes e mapas bibliométricos (Mascarenhas et al., 2018), gerados com o auxílio do *software* VOSviewer, versão 1.6.18 (Avelar et al., 2019).

Por fim, através da análise de coocorrência de palavras-chave de autores, pode-se executar o processo de refinamento da expressão de busca para que as pesquisas finais nas bases de dados elegíveis fossem realizadas. Esse processo é detalhado no APÊNDICE A. Não houve restrições relacionadas à idioma e nem ao período para a realização da pesquisa. O refinamento da expressão de busca, apresentou a expressão descrita na Tabela 1 para as bases de dados *Scopus* e *Web of Science*:

Tabela 1 – Protocolo de pesquisa teórica nas bases *Scopus* e *Web of Science*

Base	Scopus	Web of Science
Data da pesquisa	28/04/2022	28/04/2022
Expressão de busca	(blockchain) AND ("reverse logistics" OR "closed loop* supply chain" OR "green logistics" OR "reverse supply chain*" OR "green supply chain*" OR "circular economy"	(blockchain) AND ("reverse logistics" OR "closed loop* supply chain" OR "green logistics" OR "reverse supply chain*" OR "green supply chain*" OR "circular economy" OR

	OR "sustainab* logistics" OR "sustainab* supply chain*" OR "economic sustainab*")	"sustainab* logistics" OR "sustainab* supply chain*" OR "economic sustainab*")
Campos de busca	"Article title", "Abstract" e "Keywords"	Tópico (título, resumo, palavras-chave do autor e <i>KeyWords Plus</i>)
Tipos de documento	"Article" e "Review"	“Artigos”, “Acesso antecipado” e “Artigos de revisão”

Fonte: Elaborado pelo autor

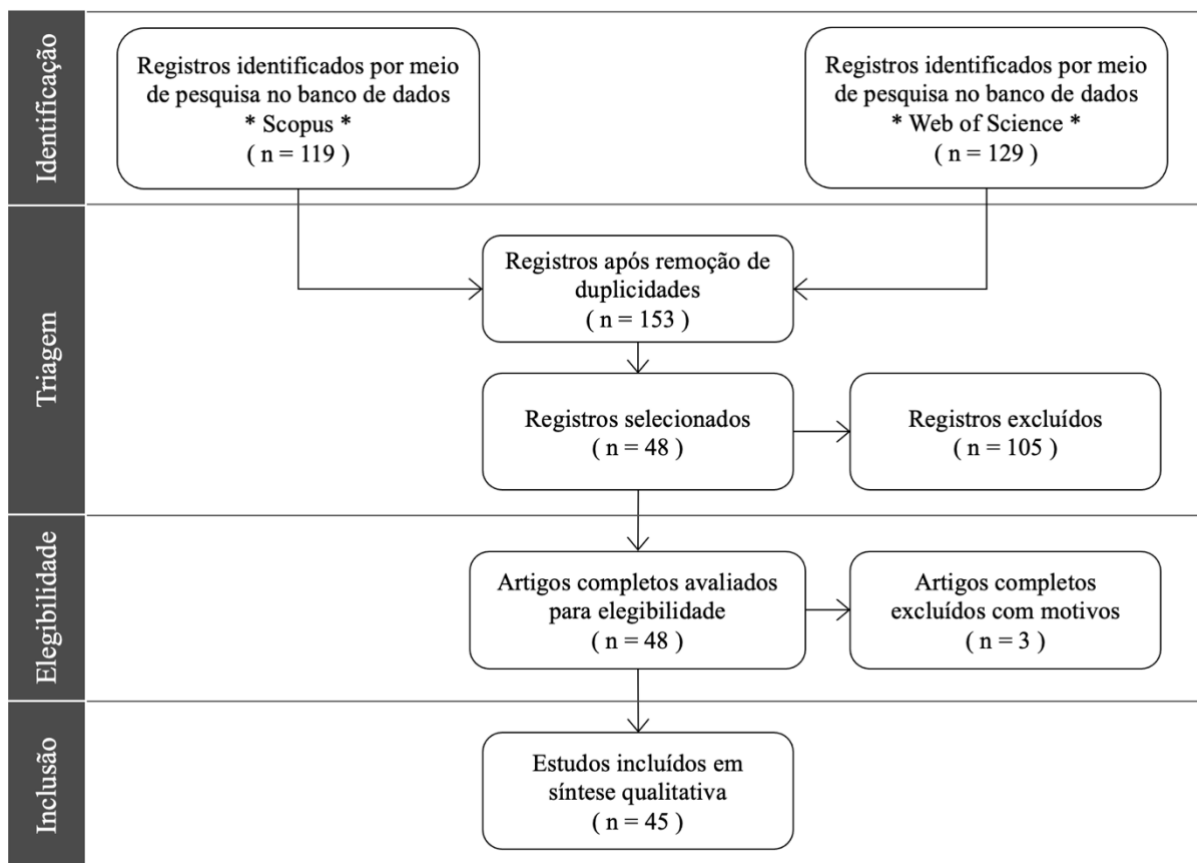
2.1.1.2 Fase (3) – Execução da RSL

Esta fase baseou-se na aplicação do método PRISMA (Pahlevan-Sharif et al., 2019) e no uso do aplicativo *web Rayyan* para selecionar os artigos relevantes para a análise de conteúdo proposto por Bardin (2011). O método PRISMA fornece um fluxograma composto por quatro passos, a saber: (i) *Identification*, (ii) *Screening*, (iii) *Eligibility* e (iv) *Included*, ilustradas na Figura 3. O primeiro passo *Identification* compreendeu a aplicação da expressão de busca (apresentada na Tabela 1) nas bases de dados definidas em protocolo de pesquisa e que retornou 119 publicações da Scopus e 129 da WoS, totalizando 248 documentos encontrados.

No passo (ii) *Screening* foram removidos os artigos em duplicidade. A análise foi executada com o apoio do aplicativo *web Rayyan*, sendo eliminados 95 documentos, ao considerar critérios de exclusão de mesmo autor, título e resumo, resultando em 153 artigos. Esses artigos foram submetidos a triagem que foi baseada na análise de inclusão e exclusão por meio da leitura do resumo dos documentos. O critério de inclusão considerou artigos que abordem a adoção da tecnologia *blockchain* em processos e práticas da LR. Já o critério de exclusão considerou títulos, palavras-chave e resumos sem os termos que indicam aderência às perguntas de pesquisa da revisão sistemática da literatura.

Os passos de (iii) *Eligibility* e (iv) *Included* permitiram uma investigação mais detalhada por meio da leitura completa dos artigos para a confirmação de elegibilidade e inclusão nos quais seis artigos foram eliminados dentro do critério de exclusão, totalizando 45 artigos elegíveis.

Figura 3 – Fase (3): Execução da Revisão Sistemática para a seleção de artigos elegíveis



Fonte: Adaptado de Pahlevan-Sharif et al. (2019)

Por fim, a *fase (4) Reportando os resultados da RSL* é detalhada a seguir.

2.1.1.3 Fase (4) – Reportando os resultados da RSL

Esta fase consistiu na análise e síntese dos artigos selecionados pela RSL. Para os critérios de seleção e análise foram consideradas as métricas de impacto de citação dos artigos CiteScore e *Journal Citation Indicator*, referentes às bases de dados Scopus e *Web of Science*, respectivamente, que auxiliam na avaliação da performance do periódico em um contexto definido (Clarivate, 2023). O CiteScore de um periódico (CS) representa o número de citações para um determinado artigo recebidas em outras publicações durante o quadriênio recente dividido pelo número total de publicações deste periódico durante o mesmo período (Elsevier, 2022). Já o *Journal Citation Indicator* (JCI) utiliza a métrica *Journal Citation Reports* (JCR) para mostrar o impacto médio da citação de artigos publicados por um periódico durante um período recente de três anos, de acordo com Clarivate (2023). No APÊNDICE B é possível observar uma relação com os 45 artigos selecionados pela RSL e as métricas citadas.

2.2 Pesquisa bibliográfica complementar

Esta pesquisa bibliográfica complementa a revisão da literatura do estudo. Após a condução da RSL aplicou-se a abordagem *snowballing* que permitiu a inclusão de referências de artigos com informações importantes para o embasamento científico da revisão sistemática (Wohlin, 2014) para identificar citações relevantes e melhorar a compreensão sobre os assuntos tratados.

Assim, foram incluídos neste trabalho o artigo seminal do autor Satoshi Nakamoto, (2008) que apresenta a proposta da criptomoeda *bitcoin*, base da tecnologia *blockchain* (Shih et al., 2021; Kouhizadeh e Sarkis, 2018; Wang et al., 2020), os artigos dos autores Tran et al. (2021) e Yang et al. (2019) que descrevem as bases da criação de blocos a partir do algoritmo de segurança SHA-256 e seu encadeamento em redes *blockchain*. Considerando o contexto de aplicação da arquitetura *blockchain* proposta, fez-se uma pesquisa na literatura complementar para embasar o tema planejamento da produção. Executou-se uma pesquisa nos Periódicos Capes considerando o termo de busca “*production planning*”. Todos os resultados da pesquisa teórica estão relatados a seguir.

2.3 Desenvolvimento da Arquitetura baseada na tecnologia *blockchain* (2ª etapa)

A 2ª etapa da pesquisa consistiu na proposição da arquitetura *blockchain*. Uma vez mapeados os estudos existentes nas bases *Scopus* e *Web of Science*, e não tendo sido identificada nenhuma arquitetura baseada na tecnologia *blockchain* para suportar a LR entre as empresas de uma cadeia de suprimentos (1ª etapa), fez a proposição de uma arquitetura para esse propósito.

Para a proposição foram identificadas e analisadas as arquiteturas *blockchain* implementadas. Partindo das fundamentações a cerca destas arquiteturas e inspirada na literatura científica, fez-se a proposição da arquitetura *blockchain* para a LR. Esta proposição é detalhada no capítulo 4 desta dissertação.

2.4 Aplicação conceitual da Arquitetura *blockchain*, análise e discussão dos resultados (3ª etapa)

Uma vez proposta a arquitetura conceitual fez-se a aplicação teórica desta arquitetura em um contexto empresarial, a saber uma empresa produtora de painéis de madeira reconstituída. No capítulo 5 caracteriza-se a empresa e o contexto de aplicação da arquitetura proposta. As informações foram coletadas com um gestor do departamento de Planejamento e

Expedição de produtos acabados que atuou na empresa por 16 anos e esteve envolvido nas atividades de planejamento e logística desta organização.

Esse foi o delineamento metodológico desta pesquisa. A seção a seguir apresenta os resultados da Pesquisa Teórica realizada.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo compreende a apresentação dos resultados da Pesquisa Teórica na qual o delineamento teórico desse estudo baseia-se na compreensão sobre os fundamentos acerca da tecnologia *blockchain* e sua evolução, considerando o gerenciamento sustentável da cadeia de suprimentos e na compreensão sobre a estrutura das arquiteturas das soluções baseadas na *blockchain*.

Análises preliminares na literatura foram feitas considerando a nuvem de palavras gerada que pode ser observada na Figura 4. O recurso visual nuvem de palavras agrupa e organiza as palavras mais frequentes por meio da investigação lexical e semiótica do corpus textual (Georgousis et al., 2022), utilizando-se do *software* IRaMuTeQ (do francês, *Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires*), desenvolvido para este fim (Idoiaga et al. 2020). O corpus textual utilizado na investigação lexical e apresentado no APÊNDICE C, representa todos os textos dos 45 artigos elegíveis desta pesquisa agrupados em um único arquivo de texto (Salviati, 2017).

Destaca-se a força da relação entre a tecnologia *blockchain* e as seguintes palavras mais relevantes: (i) “circular_economy”, “recycle”, “supply_chain”, “remanufacturing” e “sustainability”: ressaltando a relação da *blockchain* com a gestão sustentável da cadeia de suprimentos (Zhang et al., 2019; Böckel et al., 2021; Su et al., 202; Sunmola et al., 2021) e com gestão de resíduos (Ajwani-Ramchandani et al., 2020; Voorter e Koolen, 2021; Hrouga et al., 2022).

Figura 4 – Nuvem de palavras dos artigos elegíveis

Ainda na análise da nuvem de palavras, destacam-se os seguintes pontos: (ii) “framework”, “platform”, “model”, “architecture” e “application”: apresenta modelos conceituais e viáveis, plataformas, arquiteturas e aplicações baseados na tecnologia *blockchain* (Zhang et al., 2019; Tan et al., 2020; Wang et al., 2020; Ismail et al., 2021; Wu et al., 2021); (iii) “transparency”, “product”, “trust” e “rl”: constata que a *blockchain* promove o compartilhamento de dados e a rastreabilidade do produto, assegurados pela imutabilidade e transparência durante a troca de informações entre membros da cadeia de suprimentos (Khanfar et al., 2021; Oropallo et al., 2021), apoiando processos da LR (Shojaei et al., 2021), permitindo a proteção dos dados dos *stakeholders* contra fraudes (Tijan et al., 2019), falsificação em processos reversos (Shih et al., 2021) e a garantia da gestão de resíduos por meio da LR como atividade-chave do processo de retorno dos mesmos (Ajwani-Ramchandani et al., 2020); (iv) “digital”: traz luz à importância da digitalização dos processos da LR (Bekrar et al., 2021) bem como ao movimento de Transformação Digital como um facilitador essencial das atividades

logísticas (Çetin et al., 2021; Magrini et al., 2021) e, (v) “barrier”, “challenge”, “implementation” e “adoption”: externando os desafios e barreiras na adoção e implementação da tecnologia *blockchain* (Bendarag et al., 2022; Böhmecke-Schwafert et al., 2022; Boutkhoul et al., 2021; Caldarelli et al., 2021; Choi et al., 2020; Elhidaoui et al., 2022; Kayikci et al., 2022; Mathivathanan et al., 2021; Liu et al., 2021; Rejeb et al., 2022).

Para uma melhor contextualização da solução a ser proposta neste estudo, primeiramente discorre-se sobre o processo de planejamento da produção e os desafios enfrentados pela LR na gestão de suas atividades. Esses temas constituem o cenário no qual a arquitetura proposta será contextualizada. Em seguida, dá-se início a apresentação da literatura sobre a tecnologia *blockchain*, sua evolução na gestão das cadeias sustentáveis, os contratos inteligentes envolvidos nas transações e as arquiteturas baseadas na tecnologia *blockchain* identificadas.

3.1 Descrevendo o processo de planejamento da produção

A intensificação do ambiental concorrencial, elevou a complexidade da tarefa de planejamento e controle da produção, principalmente devido a fatores como prazos de entrega e ciclos de vida dos produtos mais curtos, segundo Olhager (2013), além da necessidade de maior adaptabilidade a um mercado consumidor cada vez mais exigente. Na fase de planejamento, a presença de tecnologias emergentes como a Inteligência Artificial que melhora a acurácia de variáveis-chave em processos operacionais (Lasi et al., 2014) e a *blockchain* que permite a rastreabilidade de produtos em tempo real (Dasaklis et al., 2020), apresentam resultados eficazes em tomadas de decisão estratégicas, táticas e operacionais (Shaikh et al., 2022), sobretudo aplicadas em práticas circulares (Hatzivasilis et al., 2021).

Desse modo, para definir uma estratégia ampla e de mais longo prazo para as empresas, desenvolveu-se uma abordagem hierarquizada para o processo de planejamento da produção, considerando atividades de planejamento de longo, médio e curto prazo, levando em conta as restrições de capacidade, a demanda variável e os dados conhecidos ou estimados (Drexler e Kimms, 1997) no qual o planejamento da produção ancora-se no desenvolvimento de estratégias e métodos para otimizar a alocação de recursos e garantir a eficiência da produção em uma empresa.

Neste cenário, o planejamento da produção e o planejamento da demanda, aspectos fundamentais na gestão de operações em uma organização, necessitam de planos táticos que fornecem à alta administração a capacidade de direcionar estrategicamente seus negócios para obter vantagem competitiva de forma contínua, englobando planos de fabricação, de marketing,

de pesquisa e desenvolvimento, de vendas e da gestão da cadeia de suprimentos em um conjunto integrado de planos (Ávila et al., 2019).

Por outro lado, o planejamento da demanda sofre com a dualidade entre capacidade produtiva e a demanda do mercado que, por sua vez, devem ser equilibradas dentro de uma estratégia de longo prazo (Hartzel e Wood, 2017). De forma mais particular, sem uma convergência entre o planejamento de suprimentos e o planejamento de demanda não é possível alcançar níveis de competitividade necessários no cenário atual (Tracey et al., 2005). O planejamento de demanda, por sua vez, não inclui somente previsão de demanda de produtos presentes no portfólio com base em eventos passados, mas também a previsão de demanda por produtos novos, atividades concorrenciais, diretrizes de gerenciamento e situação econômica, que uma vez realizados são passados à etapa de planejamento de suprimentos para verificação de capacidade e níveis de estoque, segundo Hartzel e Wood (2017). Assim, o primeiro passo inicia-se com a alimentação e revisão da base de dados mensal de uma empresa, com informações referentes ao nível de vendas, produção, estoques de produtos e de itens de embalagens e, pedidos não entregues. Com a base de dados alimentada, efetuam-se as previsões de demanda. Nesse sentido, os departamentos de Vendas e Marketing comparam a demanda real passada ao plano de vendas com o objetivo de verificar o potencial do mercado e de projetar demandas futuras (Bagni e Marçola, 2019; Grimson e Pyke, 2007). Desta forma, o plano de demanda atualizado é comunicado à Manufatura para que seja elaborado o plano de produção considerando necessidades de capacidade e de materiais críticos (Corrêa et al., 2019).

Neste contexto, o planejamento da produção necessita do suporte do planejamento de demanda, o que confere a este um papel crucial no planejamento de controle e produção, no desempenho e sustentabilidade financeira da empresa e, na competitividade desta a médio e longo prazo, segundo Esper et al. (2010). De acordo com os autores e devido a importância para todo o planejamento produtivo, o planejamento da demanda deve possuir o máximo de acurácia possível, a fim de atender os objetivos propostos, e ao mesmo tempo, dar fiabilidade para todos os setores da empresa que utilizam essa informação e o suporte necessário ao planejamento da produção.

3.2 Desafios da Logística Reversa

Entendem-se como processos logísticos o gerenciamento do fluxo de mercadorias entre o ponto de origem e o ponto de consumo para atender os requisitos de clientes e do mercado (Tan et al., 2020). Neste contexto, Dasaklis et al. (2020) definem a LR como o processo de planejar e controlar um fluxo eficiente e econômico de produtos acabados e informações do

ponto de consumo ao ponto de origem com o objetivo de capturar valor ou de gerar um descarte adequado. Segundo Bekrar et al. (2021), atividades existentes na cadeia da LR incluem coleta, separação e inspeção, armazenamento, processamento de desmontagem e que podem pertencer à mesma entidade ou a entidades diferentes desta cadeia. No entanto, a LR enfrenta dificuldades em obter informações precisas sobre localização, qualidade e condição dos resíduos em função da complexidade dos processos da cadeia de suprimentos (Wang et al., 2020). Neste interim, a *blockchain* pode rastrear todas as operações de transação em uma cadeia de suprimentos e facilitar o monitoramento e controle de todo o processo logístico reverso e, desta forma, permitir o retorno de produtos e resíduos (Böckel et al., 2021).

A descentralização das operações logísticas, por sua vez, evidenciada por Sahoo et al. (2022), permite reduzir custos de transação nos processos da cadeia de suprimentos e a criação de um modelo de economia compartilhada com mecanismos de governança organizacional para compartilhar recursos entre os participantes da rede logística e para alcançar metas sustentáveis mutuamente acordadas. Neste contexto, Böhmecke-Schwafert et al. (2022) corrobora que a *blockchain* pode suportar plataformas de economia de compartilhamento descentralizadas, eliminando a necessidade de um terceiro para garantir a confiabilidade das informações. Além disso, Jraisat et al. (2022) confirma que a descentralização e a tokenização ao longo da cadeia de suprimentos permitem o compartilhamento de informações e a operacionalização em cadeias de suprimentos reversas.

Gong et al. (2022) defendem que a tokenização serve como principal abordagem para motivar a participação de usuários em processos de reciclagem nos quais os usuários podem receber moedas digitais como recompensa, fomentando um estímulo financeiro para estas atividades. A *blockchain* combinado com a Internet das Coisas (IoT) e com a identificação por Radiofrequência (RFID do inglês, *Radio-Frequency Identification*) pode supervisionar automaticamente o fluxo físico de resíduos durante os processos logísticos e registrar os dados logísticos na plataforma *blockchain* (Gong, Wang, et al., 2022). O desenvolvimento de contratos inteligentes baseados na tecnologia *blockchain* possibilita o monitoramento de condições de emissões de carbono, pegada de carbono, novos modelos de negócios sustentáveis e de práticas de reciclagem, de acordo com o Rusch et al., (2022) e Yu et al. (2022), além do melhorando das operações da LR (Elhidaoui et al., 2022).

3.3 Caracterizando a tecnologia *blockchain*

A tecnologia *blockchain* é igualmente considerada como um livro-razão compartilhado e imutável em uma estrutura de dados descentralizada e distribuída tecnologia *blockchain*

(Zhang et al., 2019; Wang et al., 2020; Ismail et al., 2021; Khanfar et al., 2021; Wu et al., 2021). A *blockchain* facilita, desta forma, o processo de registro de transações descentralizadas em uma rede de negócios reduzindo os custos advindos de terceiros, além de permitir a rastreamento em tempo real de ativos ao longo de seu ciclo de vida (Magrini et al., 2021), mesmo em um ambiente adversário onde os participantes não confiam uns nos outros (Su et al., 2021). O algoritmo *hash*, também conhecido como função resumo, em conjunto com o algoritmo de consenso, garantem a integridade dos dados (Agnusdei et al., 2022), especificamente em transações digitais baseadas em criptografia reduzindo riscos de fraudes e adulteração de dados aos usuários da rede *blockchain* e aumentando a capacidade de segurança da informação (Dietrich et al., 2021), conforme detalhado no APÊNDICE D. Segundo Kazancoglu et al. (2022), as características desta tecnologia que garantem a resiliência das redes *blockchain* são seu design distribuído, a verificação de transações baseada em mecanismos de consenso e a imutabilidade de registros que, por sua vez, se baseia nos conceitos fundamentais da tecnologia *blockchain*.

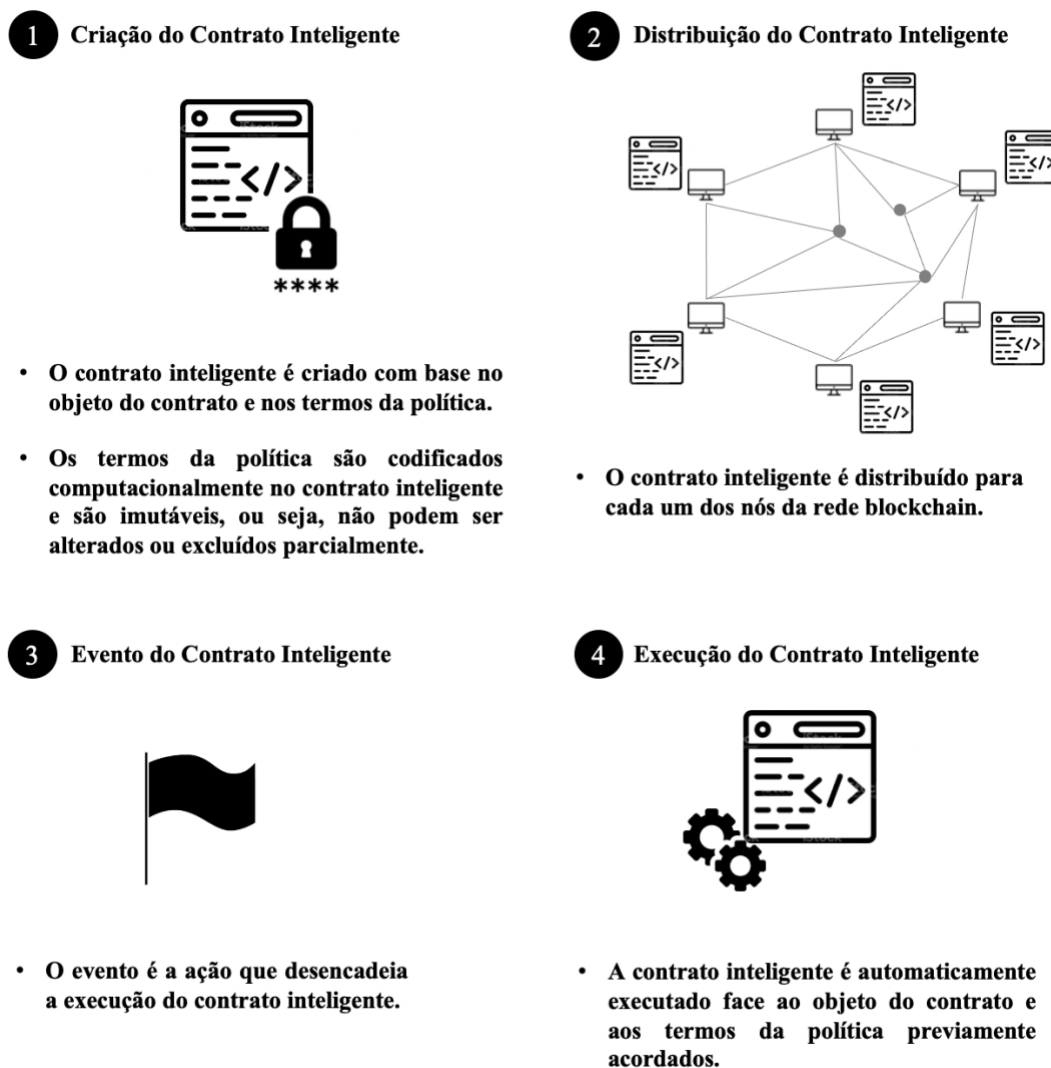
Com relação ao tipo de rede ponto a ponto, a tecnologia *blockchain* pode ser do tipo pública, privada ou mesmo híbrida. Uma rede *blockchain* pública permite que qualquer ente possa ingressar sem permissão prévia e, conseqüentemente possa visualizar todos os dados de transações efetuadas na rede. Já uma rede do tipo privada é aquela em que a participação está sujeita a permissão prévia e os dados podem ser acessados com base em direitos de controle de acesso definidos pelos administradores da rede *blockchain*. Ainda há a opção por redes *blockchain* híbridas que se situam entre o público e o privado e as quais podem ser visualizadas por qualquer participante da rede, mas com modificações sujeitas ao controle de acesso (Ismail et al., 2021; Shaikh et al., 2022).

3.3.1 Contrato Inteligente

Os contratos inteligentes são contratos digitais autoexecutáveis que permitem que duas ou mais partes interessadas celebrem um acordo sem a necessidade de intermediários como, por exemplo, advogados ou instituições financeiras o que acarreta custos adicionais de execução de transações (Kouhizadeh et al., 2019; Liu et al., 2021). Neste caso, é a rede *blockchain* que age como intermediária dos contratos entre as partes interessadas (Çetin et al., 2021), imputando a característica de descentralização na gestão das transações executadas na rede (Rejeb et al., 2022). Basicamente, um contrato inteligente é um *software* que pode tomar decisões de forma autônoma permanecendo invioláveis ao controle externo destacando a característica da imutabilidade ao contrato (Liu et al., 2021; Elhidaoui et al., 2022; Yu et al.,

2022). São armazenados na rede *blockchain* e construídos em códigos de linguagem de programação com lógicas complexas que têm por objetivo a verificação e a validação de transações dentro da rede (Khan et al., 2022), de acordo com a Figura 5.

Figura 5 – Criação e execução do Contrato Inteligente na rede *blockchain*



Fonte: Elaborado pelo autor

Os contratos inteligentes utilizam criptografia e assinaturas digitais (Chidepatil et al., 2020) para garantir a segurança na execução das transações, reduzindo riscos de ataques cibernéticos ou a violação de dados (Kayikci et al., 2022). No que tange o gerenciamento de cadeias de suprimentos fechados, os contratos inteligentes podem automatizar o rastreamento de mercadorias ao longo da cadeia (Bekrar et al.; 2021), aumentando a performance dos

processos reversos e reduzindo o risco de fraudes (Shih et al., 2021) ou erros intrínsecos aos processos logísticos tradicionais (Munir et al., 2022).

Segundo Shih et al. (2021), para construir um contrato inteligente é necessário definir algumas premissas, como: (a) Objetivo do contrato: os códigos computacionais do contrato inteligente deve ter acesso aos serviços aos quais o contrato será destinado para bloqueá-los ou desbloqueá-los automaticamente, (b) Regras de negócios: é o algoritmo no qual os termos do contrato inteligente definidos e redigidos em uma sequência exata de operações computacionais nos quais os participantes devem validar e, (c) Plataforma descentralizada: os contratos inteligentes validados e assinados digitalmente ficam disponíveis na plataforma *blockchain* e distribuídos para todos os nós da rede de forma descentralizada. Rejeb et al., (2022) destaca igualmente a importância de utilizar uma assinatura digital nos contratos inteligentes na qual os participantes do contrato utilizam suas chaves criptográficas privadas ressaltando a segurança e confiabilidade da tecnologia *blockchain*.

Embora os contratos inteligentes apresentem diversos benefícios apresentados, existem potenciais entraves, a saber: (i) complexidade: os códigos computacionais para desenvolver um contrato inteligente podem ser complexos e exigir um conhecimento técnico especializados, (ii) imutabilidade: os códigos computacionais dos contratos inteligentes não podem ser alterados para correção de um eventual erro no código ou excluídos parcialmente e, (iii) ausência de um marco regulatório: a falta de uma estrutura legal e de políticas públicas dificultam a regulamentação das atividades dos contratos inteligentes e da estabilidade financeira (Liu et al., 2021).

3.4 Evolução da tecnologia *blockchain* no gerenciamento sustentável da cadeia de suprimentos

A Tabela 2 apresenta uma análise cronológica de estudos sobre a aplicação da *blockchain* no gerenciamento da cadeia de suprimentos suportando práticas sustentáveis:

Tabela 2 – Evolução da *blockchain* no Gerenciamento Sustentável da Cadeia de Suprimentos

Ano	Trabalhos	Evolução do <i>blockchain</i> no Gerenciamento Sustentável da Cadeia de Suprimentos
2018	Alexandris et al. (2018); Kouhizadeh e Sarkis (2018)	Contratos inteligentes e rastreabilidade, ambos baseados na tecnologia <i>blockchain</i> , para monitoramento de ativos nas atividades da LR. Estes mecanismos eliminam as incertezas na localização e fornecimento de

		material no final de vida útil para melhorar a sustentabilidade ao longo da cadeia de suprimentos.
2019	Cole et al. (2019); Tijan et al. (2019); Zhang et al. (2019)	Plataformas digitais e arquiteturas conceituais que permitem aplicações baseadas em <i>blockchain</i> foram apresentadas. Tais aplicações favorecem práticas sustentáveis na gestão logística, além de melhorar a segurança e a transparência na cadeia de suprimentos. Uso da <i>blockchain</i> em dispositivos IoT para capturar dados confiáveis e gerenciar o desempenho ambiental foram discutidos. Barreiras para a adoção da tecnologia <i>blockchain</i> também foram identificadas.
2020	Ajwani-Ramchandani et al. (2020); Chidepatil et al. (2020); Demestichas e Daskalakis (2020); Nandi et al. (2020); Soldatos et al. (2020); Tan et al. (2020); Wang et al. (2020)	Arquiteturas <i>blockchain</i> implementáveis foram introduzidas para facilitar atividades logísticas sustentáveis e minimizar erros e atrasos na cadeia de suprimentos. Estrutura que integra <i>blockchain</i> com IoT e <i>Big Data</i> para o gerenciamento sustentável da cadeia de suprimentos foi proposta. Impactos positivos foram identificados sobre aplicações baseadas em <i>blockchain</i> em operações logísticas sustentáveis, especialmente em apoiar o compartilhamento e a rastreabilidade descentralizada de dados podendo suportar fluxos de trabalho complexos da LR entre os membros da cadeia de suprimentos com o objetivo de obter dados seguros e confiáveis sobre a situação dos processos de reciclagem e gerenciamento de resíduos. A relevância de contratos inteligentes para facilitar negociações na cadeia de suprimentos foi enfatizada. Custos e riscos associados à implementação da tecnologia foram reconhecidos.

2021	Bekrar et al. (2021); Böckel et al. (2021); Çetin et al. (2021); Hatzivasilis et al. (2021); Khadke et al. (2021); Khanfar et al. (2021); Magrini et al. (2021); Oropallo et al. (2021); Sahoo et al. (2021); Shih et al. (2021); Shojaei et al. (2021); Steenmans et al. (2021); Su et al. (2021); Sunmola et al. (2021); Varriale et al. (2021); Voorter e Koolen (2021)	A digitalização de procedimentos da cadeia de suprimentos e o monitoramento de produtos e processos, baseados na <i>blockchain</i> em tecnologias digitais proeminentes como IoT, GIS, RFID, <i>Cloud Computing</i>, <i>Big Data</i> e algoritmos de IA, permitem otimização das atividades da LR suportem a transição para a Economia Circular. Integração de <i>blockchain</i> com tecnologias emergentes para concepção de plataformas sustentáveis, desenvolvimento de arquiteturas robustas para práticas reversas e melhorias no desempenho da reciclagem foram notados, favorecendo a rastreabilidade de materiais e resíduos durante as atividades da LR. <i>Blockchain</i> foi considerada benéfica para construir confiança entre parceiros no gerenciamento sustentável da cadeia de suprimentos por meio da imutabilidade dos dados e do registro descentralizado das transações. <i>Blockchain</i>, IoT e contratos inteligentes são propostos para viabilizar a cadeia de suprimentos reversa em um sistema de gerenciamento de resíduos eletrônicos, promovendo a reciclagem. Arquitetura baseada em <i>blockchain</i> é sugerida para garantir registros de transações imutáveis e confiáveis em processos de reutilização e reciclagem. <i>Blockchain</i> também é usado para a rastreabilidade de dados no gerenciamento de resíduos sólidos no setor de construção civil, além de fornecer transparência e rastreabilidade no setor da reciclagem em ciclos fechados através da automação da segregação e coleta de resíduos e do controle de fim de vida útil de aparelhos eletrônicos. <i>Blockchain</i> é apresentada como um meio de prevenir fraudes no processo de devolução de mercadorias no varejo, através da criação de uma estrutura segura e rastreável. Proteção de dados do consumidor, varejistas e outras partes interessadas é garantida durante a execução de contratos inteligentes.
2022	Agnusdei et al. (2022); Govindan (2022); Gong et al. (2022); Hrouga et al. (2022); Jraisat et al. (2022); Wang et al. (2022); Yu et al. (2022)	A integração da tecnologia <i>blockchain</i> em atividades logísticas é destacada com ênfase na utilização de sensores inteligentes e na Inteligência Artificial para tornar os processos de fabricação dinâmicos, para auxiliar na tomada de decisão sobre as operações de produção, e para facilitar as práticas de remanufatura em cadeias de suprimentos, além da tokenização das transações e do aprimoramento de contratos inteligentes. A importância da <i>blockchain</i> é discutida, com foco em processos de reciclagem e reutilização. Os autores destacam as vantagens da descentralização do <i>blockchain</i> para processos de reciclagem, mas também apontam barreiras para sua adoção. A digitalização de informações e o compartilhamento de dados em tempo real são vistos como benefícios da <i>blockchain</i> no gerenciamento de resíduos.

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados evidenciam a evolução no papel do blockchain na gestão sustentável da cadeia de suprimentos e em processos reversos denotando inicialmente a utilização de contratos inteligentes e a característica da rastreabilidade como formas confiáveis de monitorar os materiais nas atividades da LR (2018). Em seguida, com a evolução da blockchain, as pesquisas apresentaram plataformas e arquiteturas conceituais (2019), que foram seguidas pela introdução de arquiteturas implementáveis a partir de 2020 e, posteriormente, pela integração com tecnologias emergentes (2021). Mais recentemente (2022), a ênfase está na tokenização de transações e no aprimoramento de contratos inteligentes.

Alexandris et al. (2018) apresentam uma plataforma conceitual baseada na tecnologia *blockchain* que ressalta a importância do compartilhando de informações sobre os ativos por todas as entidades controladores da cadeia de suprimentos. Segundo os autores, o *framework* coleta dados através de sensores IoT para mapear diretamente os atributos de localização, condição e disponibilidade de ativos e que formam o fundamento para a sustentabilidade das operações da LR. Eles discutem que as propriedades básicas de transparência e criptografia da *blockchain* imputem resiliência a falhas ou incidentes de segurança em cadeia de suprimentos. Ainda em 2018, Kouhizadeh e Sarkis (2018) apontam que a *blockchain* auxilia na remoção de intermediários nas transações da rede logística e, desta forma, reduz custos nos processos operacionais. Além disso, os autores reiteram que a necessidade de conhecer a localização de um material a ser recuperado por meio da rastreabilidade pode ajudar a reduzir a incerteza nas atividades da LR. Um aspecto da *blockchain* que pode ser importante, segundo os autores, são os termos de troca entre as partes interessadas auxiliados por contratos inteligentes nos quais o financiamento de devoluções pode ser concluído eletronicamente de forma eficiente, segura e imutável.

Em 2019 foram apresentadas arquiteturas conceituais e aplicações baseadas na tecnologia *blockchain* que contribuíram para a rastreabilidade de resíduos nos processos reversos e para a eliminação de erros de informações em processos logísticos através da criptografia e imutabilidade dos dados trocadas entre os elos da rede logística (Tijan et al., 2019), relacionam a tecnologia *blockchain* ao gerenciamento sustentável da cadeia de suprimentos. Segundo os autores, o uso de aplicativos baseados em *blockchain* em plataformas digitais pode trazer segurança às atividades logísticas, minimizando ou eliminando problemas de pedidos atrasados, erros, entradas múltiplas de dados e danos às mercadorias, intrínsecos aos processos logísticos, contribuindo preventivamente nas operações das cadeias de suprimentos sustentáveis. Eles argumentam que as propriedades básicas de descentralização, transparência

e segurança da *blockchain* trazem visibilidade para a cadeia de suprimentos, ou seja, o monitoramento em tempo real das mercadorias ao longo do processo logístico pode reduzir erros e atrasos por meio da rápida identificação de problemas e, desta forma, fomentar novas oportunidades de negócios e conceitos que podem ser explorados. Zhang et al. (2019) destacam o uso de uma arquitetura baseada na aplicação de *blockchain* em dispositivos equipados com tecnologia IoT para capturar dados de entrada confiáveis que serão armazenados em um banco de dados de *big data* para gerenciar o desempenho ambiental das cadeias de suprimentos por meio do Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de um produto, que é amplamente utilizado para avaliar os potenciais impactos ambientais de um produto ou serviço. Para habilitar o ACV, os autores apontam que o *blockchain* pode suportar a coleta segura de dados confiáveis ao longo de cadeias de suprimentos. Os autores também destacam a existência de barreiras interorganizacionais, intraorganizacionais, técnicas e externas na implementação da tecnologia *blockchain* já exploradas na literatura científica por outros autores, mas de igual relevância na adoção dessa tecnologia. Por outro lado, Zhang et al. (2019) apontam que, mesmo considerando os riscos e custos existentes associados à implementação da *blockchain*, as grandes empresas estão mais bem posicionadas para incentivar a cooperação entre seus parceiros da cadeia de suprimentos na adoção da tecnologia *blockchain*.

Além disso, Cole et al. (2019) apontam que o *blockchain* pode ser uma solução para o problema da falta de transparência em toda a cadeia de suprimentos devido à preocupação dos integrantes da rede logística com a origem dos dados e informações compartilhados. Além disso, o *blockchain* contribui para as operações do gerenciamento da cadeia de suprimentos no que tange aos custos de transações administradas por terceiros devido à descentralização das transações financeiras e eliminação destes terceiros, no gerenciamento e reposição de estoques reduzindo intermediários e melhoria da segurança e proteção do produto por meio de registros imutáveis dos dados. Segundo os autores, as redes *blockchain* ponto a ponto fornecem dados em tempo real sobre a origem dos materiais, transações enviadas e recebidas, ordens de compra e níveis de estoque. Os autores ainda destacam que cada transação, armazenada em um bloco da rede *blockchain*, pode ser verificada a qualquer momento pelos diferentes membros da cadeia de suprimentos (Gong et al., 2022). Assim, a imutabilidade proporcionada pela *blockchain* proporciona segurança às atividades reversas e confiabilidade aos membros de cadeias de suprimentos para práticas sustentáveis (Kouhizadeh e Sarkis, 2018; Steenmans et al., 2021).

Em 2020, a tecnologia *blockchain* e a adoção de contratos inteligentes baseados nesta permitiram a automatização de negociações logísticas e o desenvolvimento de aplicações que

auxiliaram as atividades sustentáveis em cadeias de suprimentos por meio do gerenciamento da economia de energia, da roteirização de veículos e da localização precisa de materiais em tempo real, além da digitalização das atividades logísticas (Çetin et al., 2021), permitindo às cadeias de suprimentos executar processos reversos com eficiência. Tan et al. (2020) propõem uma estrutura que integra a tecnologia *blockchain* com IoT e *Big Data* para o gerenciamento sustentável da cadeia de suprimentos, no qual os dados dos materiais podem ser coletados em tempo real e usados em aplicativos projetados que permitem executar as atividades da LR, gerando impactos positivos em operações logísticas sustentáveis, já que garantem a confiabilidade e imutabilidade de dados trocados entre usuários da cadeia de suprimentos. Além disso, os autores destacam o uso de contratos inteligentes, projetados para facilitar, verificar e executar automaticamente as negociações entre os parceiros da cadeia de suprimentos sem a necessidade de autoridades centrais, podendo inclusive estimular novos modelos de negócios. Os autores acrescentam que, mesmo com os potenciais benefícios do uso de uma estrutura baseada em *blockchain* para possibilitar processos logísticos sustentáveis, existem custos relacionados a dispositivos, treinamento, operação e manutenção que inferem altos riscos ao investimento na implementação da estrutura apresentada pelos autores.

Segundo Nandi et al. (2020), as características de Localização, Agilidade e Digitalização (LAD) das Cadeias de Suprimentos podem ser aprimoradas por meio da tecnologia *blockchain*. Segundo os autores, as práticas sustentáveis possibilitadas pela tecnologia *blockchain* são suportadas por mecanismos de rastreabilidade em tempo real e, portanto, melhoram a capacidade de resposta da cadeia de suprimentos. Eles também enfatizam a importância da transformação digital nas organizações como forma de viabilizar a estrutura de dados *blockchain* por meio da digitalização dos processos da cadeia de suprimentos e da capacidade de visualização dos dados em tempo real, reduzindo a complexidade e a incerteza das informações. Assim, a *blockchain* pode contribuir para a construção de cadeias de suprimentos sustentáveis e resilientes (Nandi et al., 2020).

O ano de 2021 foi marcado pela integração do *blockchain* com tecnologias emergentes aplicadas em arquiteturas mais robustas que contribuíram com práticas mais sustentáveis em cadeias de suprimentos suportando o desempenho da reciclagem (Oropallo et al., 2021). Os autores demonstram aplicações de contratos inteligentes com IoT e *Big Data* em atividades da LR por meio de arquiteturas mais potentes que permitem a rastreabilidade de resíduos em tempo real. Segundo Oropallo et al. (2021), a implementação do *blockchain* favorece o conceito de confiabilidade entre os parceiros no gerenciamento sustentável da cadeia de suprimentos salientando a imutabilidade dos dados e informações trocados na rede *blockchain*, bem como o

registro descentralizado das transações, eliminando a necessidade de um sistema centralizado autoridade.

Sahoo et al. (2021) propõem o uso de *blockchain*, IoT e contratos inteligentes para viabilizar a cadeia de suprimentos reversa aplicada em um sistema de gerenciamento de resíduos eletrônicos decorrentes do consumo de equipamentos eletroeletrônicos para fornecer cobertura completa do ciclo de vida desses produtos e a promoção da reciclagem através de mecanismos de incentivo. Bekrar et al. (2021) propõem uma arquitetura baseada na tecnologia *blockchain* para garantir que os registros de transações em processos de reutilização e reciclagem sejam imutáveis e confiáveis e, assim, possam ajudar as atividades da LR, considerando a fragilidade e os limites de cadeias de suprimentos durante a pandemia da Covid-19. Os autores apontam que a aplicação de contratos inteligentes facilita as transações logísticas ao atribuir responsabilidade aos atores de LR ao analisar os requisitos de qualidade na entrega. Neste interim, a *blockchain* contribui com a eficiência de transações na rede logística por meio do desenvolvimento de contratos inteligentes.

No âmbito de processos de reciclagem é explorado por Shojaei et al. (2021) que apresentaram um estudo sobre aplicações de *blockchain* como uma infraestrutura robusta e abrangente para o gerenciamento de resíduos sólidos no setor da construção civil na qual a rastreabilidade em tempo real de dados é decisória para o processo de reciclagem. Voorter e Koolen (2021) destacam a importância do rastreamento de resíduos de qualidade advindos da construção e demolição para garantir a sustentabilidade no setor da Construção Civil. Os autores apontam que a segurança criptográfica da *blockchain* pode trazer mais confiança e cooperação em toda a cadeia de suprimentos, melhorando o gerenciamento de dados e informações relacionados à geração de resíduos e de seu potencial reaproveitamento. O sistema de rastreabilidade em tempo real, portanto, permite a identificação precisa dos locais de armazenamento, transferência e recebimento de resíduos de forma transparente para os usuários da cadeia de suprimentos, de acordo com os autores.

Com a evolução da tecnologia *blockchain*, Shih et al. (2021) apresentaram a aplicação do *blockchain* na LR através de uma estrutura desenvolvida na plataforma *Ethereum* que cria uma rede segura que permite o rastreamento de produtos em tempo real para prevenir fraudes no processo de devolução de mercadorias no varejo. Além disso, as pegadas digitais, ou seja, os rastros de dados deixados pelos usuários ao usar a Internet e visitar sites, enviar e-mails ou mesmo enviar informações on-line, e os direitos dos consumidores, varejistas e outras partes interessadas, são protegidas contra falsificação durante a execução de contratos inteligentes na *blockchain Ethereum* e nas atividades da LR, de acordo com os autores.

Cabe destacar que em 2022 a automatização das atividades logísticas dos processos de reciclagem, possibilitada por contratos inteligentes aprimoradas (Govindan, 2022) e pela tokenização das operações da cadeia de suprimentos (Gong, Xie, et al., 2022) baseados na tecnologia *blockchain*, contribui para a eficiência das transações das cadeias de suprimentos tornando-as mais sustentáveis e seguras (Hrouga et al., 2022). Govindan (2022) aponta que a introdução do *blockchain* lança luz sobre a falta de confiabilidade de dados transferidos entre membros de cadeias de suprimentos. Nesse contexto, Gong et al. (2022) corroboram a explicação de Govindan (2022), enfatizando que as principais características da descentralização da *blockchain* e sua atuação transparente e rastreável podem ser aplicadas em processos de reciclagem com excelentes resultados, além de melhorar a segurança destes processos por meio da tokenização. A *blockchain*, de acordo com os autores, é uma abordagem factível para promover o rastreamento do fluxo de resíduos e a integração de cadeias de reciclagem.

Por outro lado, Gong et al. (2022) destacam as incertezas e barreiras cognitivas, tecnológicas, internas e externas à adoção da *blockchain* nos processos de reciclagem. Os autores chamam a atenção para o baixo conhecimento de altos executivos sobre a *blockchain* que reverbera em barreiras dentro das organizações, limitando o capital investido tanto na implementação da tecnologia quanto no desenvolvimento de capacidades técnicas. Isso também se reflete na falta de políticas de cooperação industrial e governamental, principalmente no apoio mútuo entre as indústrias e no desenvolvimento de políticas públicas que incentivem a operação de novos negócios relacionados à reciclagem, eliminando os monopólios locais que limitam a evolução das práticas de reciclagem.

A digitalização de informações e o compartilhamento de dados em tempo real são destaques de Hrouga et al. (2022) nos quais a *blockchain* é apresentada como uma resposta ao problema dos resíduos gerados na utilização do amianto que tem grande impacto na saúde humana e no meio ambiente. Mesmo com o desenvolvimento de contratos inteligentes utilizados em diversas atividades em cadeias de suprimentos, os autores descrevem a reticência das partes interessadas em adotar essa tecnologia e a falta de habilidades técnicas para usar o *blockchain* como barreiras à implementação. Hrouga et al. (2022) ratificam o trabalho de De Oliveira et al. (2022) em que apontam que a tecnologia *blockchain* precisa ser mais explorada em cadeias de suprimentos, da mesma forma, que tecnologias emergentes como a Inteligência Artificial e o Aprendizado de Máquina são pouco exploradas em cadeias de suprimentos e, que, por sua vez, podem proporcionar novos modelos de negócios através da integração destas tecnologias.

3.5 Arquiteturas implementáveis baseadas na tecnologia *blockchain*

Com os avanços tecnológicos evidenciados pela Indústria 4.0, a aplicação da *blockchain*, apresentada inicialmente como modelos conceituais (Alexandris et al., 2018), evoluiu para o desenvolvimento de arquiteturas concretas que tem por objetivo contribuir com a gestão sustentável de cadeias de suprimentos por meio da transformação digital de suas operações (Zhang et al., 2019; Böckel et al., 2021; Su et al., 2021; Sunmola et al., 2021). Segundo Tan et al. (2020), a implementação da *blockchain* com tecnologias emergentes podem afetar positivamente os principais objetivos do gerenciamento da cadeia de suprimentos como custo, velocidade, confiabilidade, redução de riscos, sustentabilidade e flexibilidade, além de auxiliar na remoção de intermediários em transações da rede logística e, desta forma, reduzir custos operacionais (Kouhizadeh e Sarkis, 2018). Além disso, os autores reiteram que a necessidade de conhecer a localização precisa e em tempo real de um material a ser recuperado e possivelmente reutilizado pode ajudar a reduzir a incerteza do retorno deste nas atividades da LR e do Planejamento da Produção.

Em conjunto com a tecnologia IoT, a *blockchain* pode coletar dados com precisão em tempo real (Kouhizadeh et al., 2019) por meio de uma estrutura de dados imutável e descentralizada (Soldatos et al., 2020; Khanfar et al., 2021) que facilita o processo de rastreamento de materiais (Böckel et al., 2021; Boutkhoul et al., 2021) e pode permitir a resolução precisa de problemas de localização em tempo real de materiais ao longo de cadeias de suprimentos, de acordo com Kouhizadeh et al. (2019). Akbari e Hopkins, (2022) e Wang et al., (2020) reiteram que a IoT juntamente com a *blockchain* tem a capacidade de dar suporte à visibilidade e ao compartilhamento de informações em cadeias de suprimentos de forma descentralizada.

Esta seção, portanto, considera as arquiteturas *blockchain* implementáveis e apresentadas estruturalmente na forma de múltiplas camadas, conforme descritas na Tabela 3.

Tabela 3 – Estrutura das arquiteturas baseadas na *blockchain* e tecnologias envolvidas

Artigo (autor, ano)	Estrutura da arquitetura		Tecnologias envolvidas						
	Camadas	Subcamadas	Cloud computing	Gateway	Big data	IoT	RFID	QR code	GPS
Blockchain-based life cycle assessment - an implementation framework and system architecture (Zhang et al., 2019)	• Infraestrutura	• Hardware • Software		✓	✓	✓	✓		
	• Serviços blockchain	• Serviços • ACV							
	• Aplicações								
	• Usuários								
A Blockchain-Based Framework for Green Logistics in Supply Chains (Tan et al., 2020)	• Física				✓	✓	✓		✓
	• Percepção								
	• Rede								
	• Blockchain								
	• Gerenciamento								
	• Aplicação								
	• Usuário								
	• Percepção	• Sensores • IoT gateways	✓	✓		✓	✓	✓	✓

Artigo (autor, ano)	Estrutura da arquitetura		Tecnologias envolvidas						
	Camadas	Subcamadas	Cloud computing	Gateway	Big data	IoT	RFID	QR code	GPS
Blockchain-enabled circular supply chain management - A system architecture for fast fashion (Wang et al., 2020)	• Rede blockchain	• Serviços • Dados							
	• Aplicação								
	• Usuário								
A Scoping Review of Integrated Blockchain-Cloud (BcC) Architecture for Healthcare: Applications, Challenges and Solutions (Ismail et al., 2021)	• Healthcare Stakeholders								
	• Acesso		✓	✓	✓	✓			
	• Integração Blockchain-Cloud	• Serviço Blockchain • Armazenamento • Cloud							
A Blockchain-IoT Platform for the Smart Pallet Pooling Management (Wu et al., 2021)	• Paleta Descentralizado	• Stakeholders • Terminal							
	• Percepção	• Identificação de paletes • Redes Cibernéticas							
	• Rede		✓		✓	✓	✓	✓	
	• Descentralização								
	• Serviços	• Serviços Cloud • Serviços IoT							
	• Aplicação								

✓: indica que a arquitetura baseada na *blockchain* possui a informação descrita

Fonte: Elaborado pelo auto

O design da arquitetura *blockchain* em múltiplas camadas proporciona uma organização clara dos componentes e das diferentes responsabilidades que cada um desempenha, segundo Wu et al. (2021). A definição da quantidade de camadas e subcamadas e o design da arquitetura *blockchain* têm como base o uso e a aplicação para os quais esta arquitetura será destinada (Wang et al., 2020). Ismail et al. (2021) ressaltam a importância de arquiteturas *blockchain* disponibilizadas em camadas que apresentam a característica da interoperabilidade na qual diversos sistemas de diferentes organizações interajam em conjunto, sem a geração de uma dependência tecnológica entre estes sistemas, de modo a garantir a troca informações e o acesso aos dados em tempo real de maneira eficaz.

Zhang et al. (2019) apresentam em seu trabalho a arquitetura *blockchain* múltiplas camadas como uma solução ao desafio do compartilhamento seguro e confiável de dados capturados para conduzir a ACV de produtos visto que, segundo os autores, a coleta de dados confiáveis apresenta-se como um grande desafio na ACV devido às complexidades envolvidas no rastreamento dos dados de entrada e saída de produtos ao longo da cadeia de suprimentos. Nesta arquitetura, a camada de infraestrutura, responsável pela coleta, transmissão e registro de dados, é dividida em duas subcamadas responsáveis pelo (i) gerenciamento dos equipamentos de *hardware* como sensores inteligentes IoT, leitores RFID, medidores inteligentes de água e de eletricidade, servidores locais e de estocagem de dados e pela rede de computadores e, pela (ii) gestão de *software* responsável pelo sistema operacional de *gateway* que serve como uma ponte para conectar o equipamento físico (*hardware*) com as demais camadas da arquitetura. Já a camada de serviços *blockchain* é dividida em duas subcamadas, a saber: (i) subcamada Serviços responsável pelo gerenciamento da rede *blockchain*, pelo serviço de análise e processamento de dados e pelo serviço de rastreabilidade e de visibilidade dos dados e, (ii) subcamada ACV utilizada para os dados de consumo de recursos de entrada e para os dados de emissão de resíduos de saída com o objetivo de registrar e processar os dados relacionados à ACV. Os autores destacam em seu estudo que a ACV baseada na *blockchain* pode auxiliar as organizações a melhorar o monitoramento e o gerenciamento do desempenho sustentável de suas atividades na cadeia de suprimentos devido a melhoria da confiança, rastreabilidade e transparência, características intrínsecas da tecnologia *blockchain*.

Tan et al. (2020) propõem uma arquitetura de sete camadas com o intuito de minimizar os problemas de atraso de pedidos, danos a mercadorias, erros e entrada múltipla de dados no gerenciamento da cadeia de suprimentos, promovendo o desenvolvimento das atividades da LR e da gestão sustentável da cadeia de suprimentos. Esta arquitetura é composta pela camada Física responsável por todos os tipos de recursos logísticos básicos para apoiar a operação da

logística, camada Percepção que fornece a capacidade de monitorar os recursos logísticos por meio de uma série de dispositivos de detecção, como leitores e códigos RFID, bem como códigos de barras que são utilizados para identificar mercadorias de forma única, *webcams* usadas para monitorar o ambiente de trabalho para a segurança das mercadorias, além de caminhões equipados com sistemas de posicionamento global GPS (do inglês, *Global Positioning System*) para que a informação em tempo real referente à posição geográfica seja executada de forma precisa. A camada Rede é responsável pelos canais de comunicação nos quais os dados coletados por meio da camada Percepção podem ser transmitidos para a camada Blockchain em tempo real e com segurança graças aos mecanismos de consenso e de criptografia desta. A camada Gerenciamento é composta de diversas ferramentas de gestão que suportam a operação desta arquitetura para o gerenciamento das camadas Blockchain, Rede e Usuários. A gestão de usuários é responsável por gerenciar a análise do processo logístico nas cadeias de suprimentos e pela geração de chaves públicas e privadas.

Wang et al. (2020) descrevem a aplicação da arquitetura de múltiplas camadas para promover o rastreamento e reutilização de produtos nos processos de reciclagem, recuperação e reutilização destes suportados por meio da LR para o gerenciamento de cadeia de suprimentos na indústria da Moda. Os autores apresentam esta arquitetura em quatro camadas, a saber: (i) Percepção, (ii) Rede blockchain, (iii) Aplicação e (iv) Usuário. A camada Percepção é composta por duas subcamadas – Sensores e IoT *gateways* – responsáveis por sensores inteligentes utilizados para coletar os dados de entrada em todas as fases do ciclo de vida do produto e por pontos de conexão que permitem que equipamentos de diferentes padrões de comunicação troquem dados entre si, respectivamente. Vários sensores inteligentes e dispositivos IoT, como códigos QR (do inglês, *Quick Response*), etiquetas e leitores RFID (Agnusdei et al., 2022), aparelhos GPS, são utilizados para permitir a implantação de tecnologias de coleta de dados e de transmissão dos mesmos por sistemas gateways entre as redes de sensores sem fio e as redes de comunicação tradicionais ou pela Internet (Varriale et al., 2021; Gong et al., 2022). A camada Rede *blockchain* é responsável por processar e registrar os dados gerados a partir das atividades em todas as fases do ciclo de vida do produto. A camada de Aplicação fornece aplicações baseadas na *blockchain* para o monitoramento e ao gerenciamento em tempo real do ciclo de vida do produto (Dasaklis et al., 2020; Kayikci et al., 2022), da reciclagem de produtos. A camada Usuário é responsável pela gestão e controle de acessos dos membros da cadeia de suprimentos.

A arquitetura proposta no trabalho de Ismail et al. (2021) destaca a integração da *blockchain* com a tecnologia da computação da nuvem na qual a *blockchain* fornece soluções

para atender às preocupações de segurança e privacidade da nuvem devido ao seu recurso de descentralização combinado com segurança e privacidade de dados enquanto a nuvem fornece soluções para os desafios de escalabilidade e eficiência da *blockchain*. A arquitetura de integração *Blockchain-Cloud* é apresentada para o setor da Saúde em três camadas: (i) Healthcare Stakeholders na qual os usuários desta arquitetura *blockchain* são as diferentes partes interessadas, como profissionais da área da Saúde, pacientes, Seguradoras, empresas farmacêuticas e autoridades governamentais da Saúde, (ii) Acesso responsável pelo controle de acesso dos usuários por meio de arquitetura como *Remote Procedure Call* (RPC), *Representational State Transfer* (REST), *Application Programming Interface* (API), Web API ou *Simple Object Access Protocol* (SOAP) e, (iii) Integração *Blockchain-Cloud* que fornece os serviços *blockchain* como aplicações desenvolvidas com contratos inteligentes, transações digitais e criptografia dados distribuídos, além de armazenamento na nuvem.

Por fim, Wu et al. (2021) apresentam a arquitetura *blockchain* de seis camadas para o gerenciamento de paletes nas atividades de logística e da cadeia de suprimentos. A camada Pallet Descentralizado é responsável pela gestão de *stakeholders* compostos por fornecedores de paletes, prestadores de serviços de paletes, empresas, prestadores de serviços logísticos e também pela gestão do Terminal de equipamentos que acessam esta arquitetura *blockchain*. Na camada Percepção os paletes recebem identidades exclusivas de código de barras, código QR ou identificação por RFID, além de estarem associados às redes cibernéticas em conjunto com outros sistemas de gerenciamento empresarial, nomeadamente o Planejamento de Recursos Empresariais (do inglês ERP, *Enterprise Resource Planning*), o Sistema de Gerenciamento de Armazém (do inglês WMS, *Warehouse Management Software*) e o Sistema de Gerenciamento de Transportes (do inglês TMS, *Transportation Management System*). Já na camada Rede, os dados relacionados ao pallet, como transferência de propriedade, duração da retenção e status do pallet, são efetivamente armazenados na nuvem privada e na rede *blockchain* na camada Descentralização. A camada Serviços é responsável por aplicar os serviços de nuvem e da tecnologia IoT, como armazenamento e análise de dados e, protocolos de IoT. Na última camada desta arquitetura, Aplicação, os usuários podem monitorar e controlar efetivamente seus níveis de paletes.

3.6 Considerações finais do capítulo

A análise das arquiteturas implementáveis da revisão de literatura revelou a presença de estruturas organizadas por camadas e subcamadas juntamente com a aplicação de tecnologias emergentes relevantes para os processos de reciclagem (Zhang et al., 2019; Tan et al., 2020;

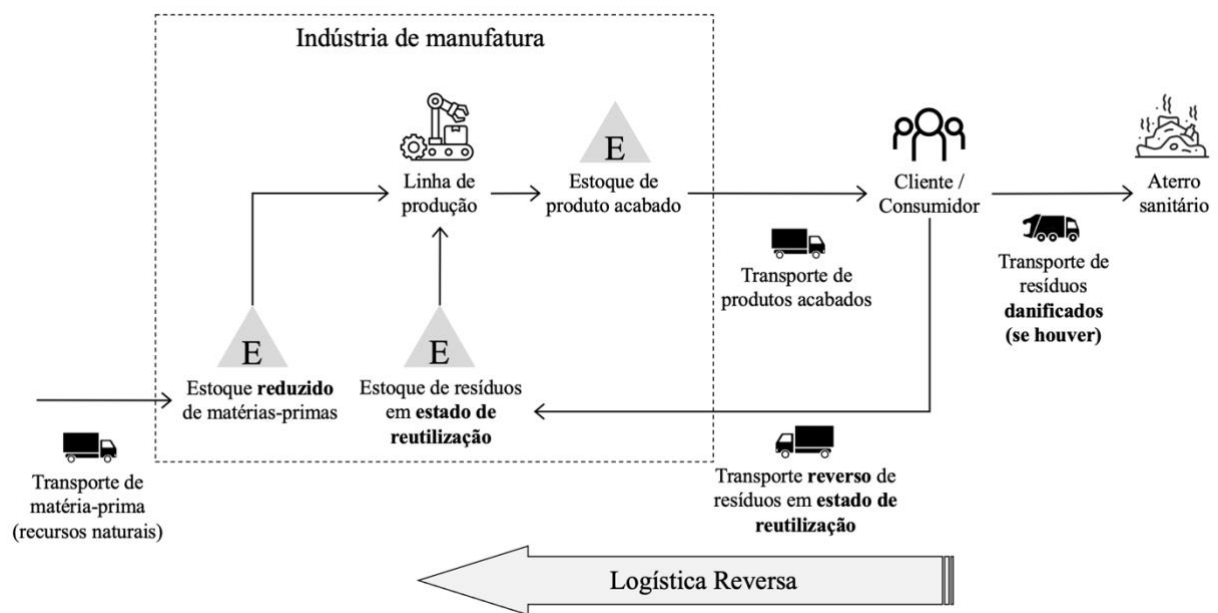
Wang et al., 2020; Ismail et al., 2021 e Wu et al., 2021). Por outro lado, não há nos artigos elegíveis desta revisão que apresentem a utilização de arquiteturas *blockchain* nas atividades de Manufatura e do planejamento da produção que possam ser contemplados com os dados confiáveis referentes ao rastreamento em tempo real de materiais e resíduos por meio da LR ao longo de cadeias de suprimentos.

Desta forma, faz-se necessário a proposta de uma nova arquitetura baseada na tecnologia *blockchain* como viabilizador das atividades de Manufatura e de Planejamento e que tenha a visão das atividades da LR para acompanhamento em tempo real da localização e quantidade exatas durante o retorno de materiais e resíduos. Para isso, é necessário que as arquiteturas *blockchain* analisadas neste estudo contenham uma camada suplementar responsável por alimentar as operações de Manufatura e do processo de planejamento da produção com informações precisas e em tempo real de resíduos que podem ser utilizados em processos produtivos. Esta nova arquitetura proposta é detalhada nas próximas seções deste trabalho.

4 DESENVOLVIMENTO DA ARQUITETURA BASEADA NA TECNOLOGIA BLOCKCHAIN

O cenário para a proposição desta arquitetura é descrito nos parágrafos a seguir. A Figura 6 acentua a LR como atividade-chave no processo de retorno de resíduos em estado de reutilização pela manufatura, viabilizada pela atuação da arquitetura blockchain proposta, evidenciando a necessidade de uma camada responsável pelas atividades manufatureiras de planejamento da produção.

Figura 6 – Logística Reversa no processo de retorno de resíduos à Manufatura



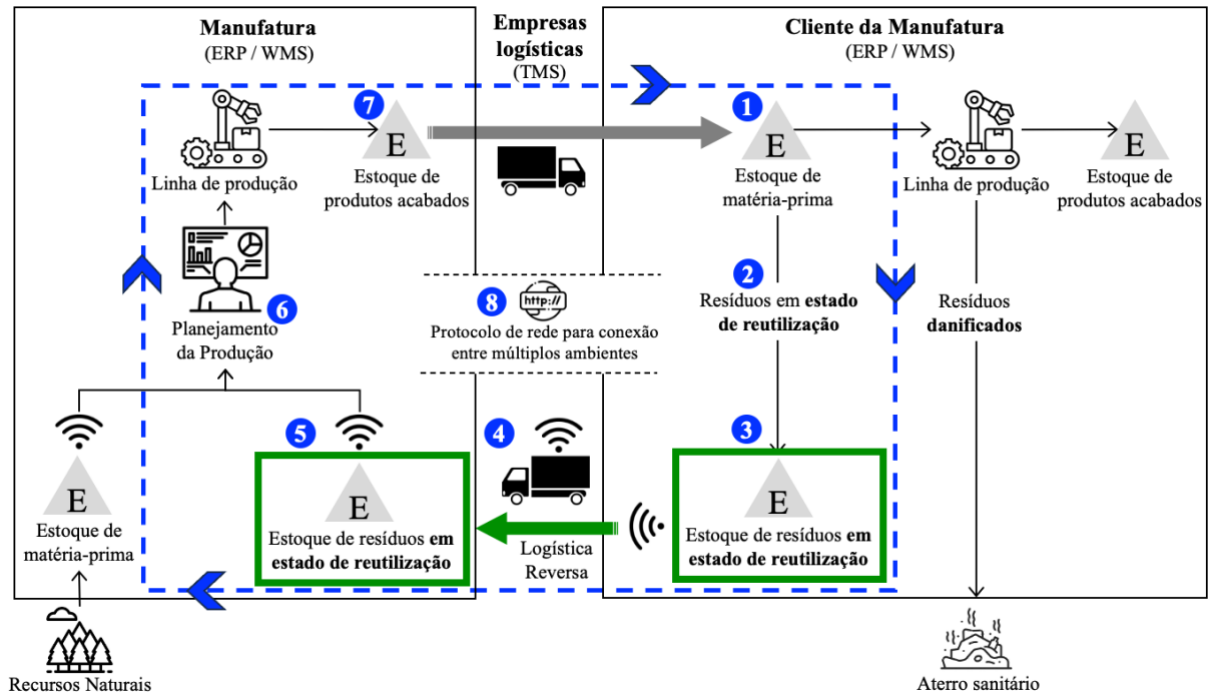
Fonte: Elaborado pelo autor

As atividades financeiras suportadas por terceiros acarretam custos administrativos, burocracia e tempos improdutíveis em obter a aprovação de uma parte da cadeia para que o processo possa prosseguir, além de exposição a erros, perdas de informação e documentação física aos membros da cadeia de suprimentos (Tijan et al., 2019). Neste sentido, a transformação digital das atividades logísticas através da implementação de tecnologias como sensores inteligentes pode reduzir tanto custos operacionais quanto possíveis erros intrínsecos ao processo logístico tradicional evidenciados no fluxo de dados e de resíduos na cadeia de suprimentos, além de beneficiar a LR com informações geográficas precisas dos mesmos e em tempo real (Tijan et al., 2019).

A Figura 7 descreve, portanto, a modelagem conceitual do cenário futuro de retorno de resíduos originados nos clientes para o retorno e reutilização pela Manufatura, favorecida pela

implementação de sensores IoT, etiquetas e leitores de código de barras e RFID e de sistemas de posicionamento global GPS nos veículos de transporte das empresas logísticas para que o rastreamento destes possa ser realizado de forma precisa e em tempo real (Alves et al., 2022) por meio da arquitetura *blockchain*:

Figura 7 – Modelagem conceitual do cenário futuro de retorno de resíduos à manufatura



Fonte: Elaborado pelo autor

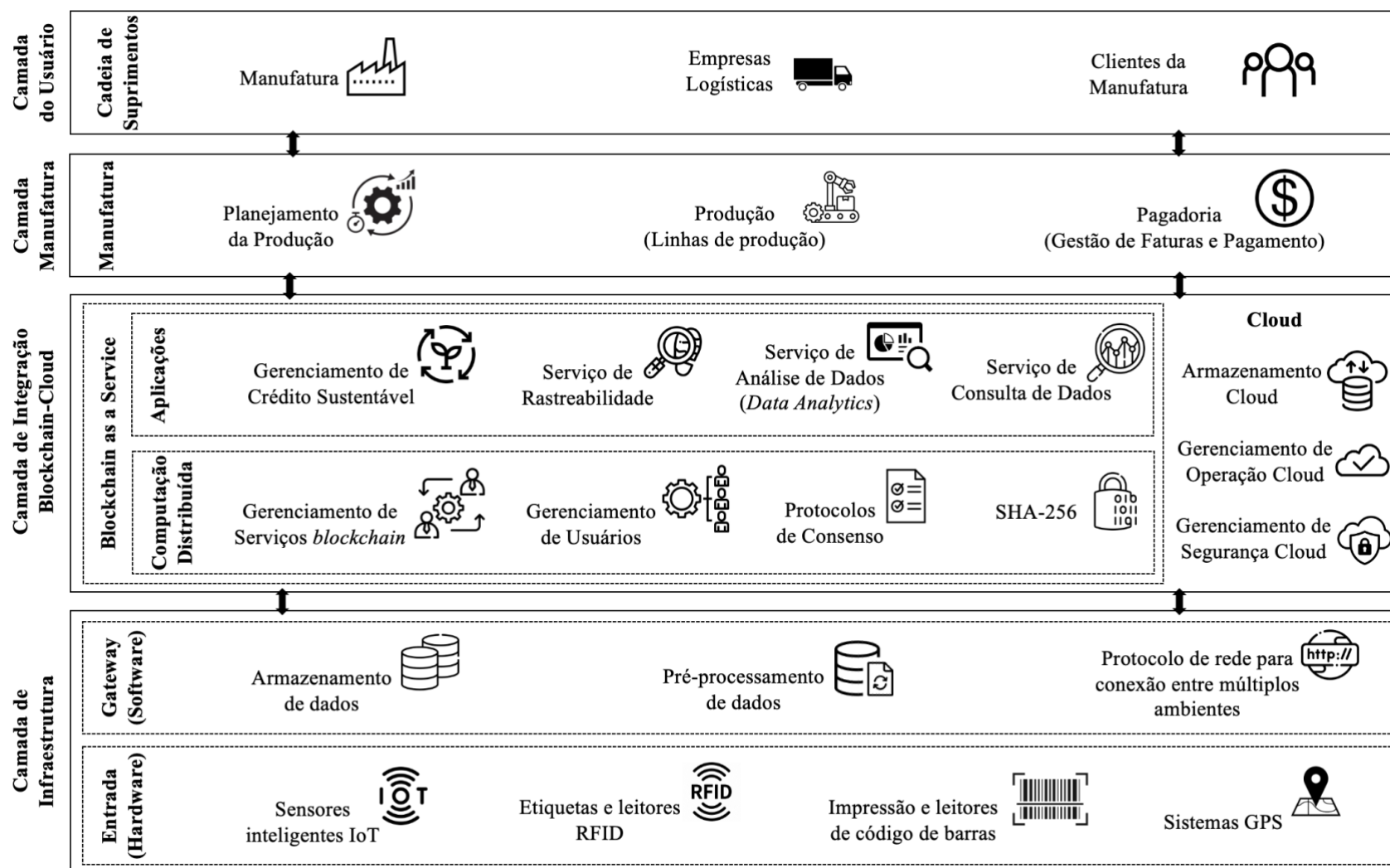
- (1) O Cliente da Manufatura recebe os produtos acabados advindos da Manufatura e entregue pelas Empresas Logísticas;
- (2) Os resíduos em estado de reutilização são segregados, pelo Cliente da Manufatura, dos resíduos danificados que serão destinados a aterros sanitários em função da impossibilidade de uso;
- (3) Os resíduos que serão reutilizados são direcionados ao estoque de retorno de resíduos no qual os sensores inteligentes (IoT, leitores de código de barras e de RFID) compilam automaticamente e em tempo real o total de resíduos e as informações necessárias para o retorno deles através da camada Infraestrutura da arquitetura *blockchain* que envia estes dados para a camada Integração Blockchain-Cloud para acesso de todos os membros da cadeia de suprimentos;
- (4) Assim, as empresas logísticas terão a visão em tempo real da quantidade total de resíduos estocados por localização geográfica dos clientes da Manufatura e, portanto,

poderão definir a estratégia de roteirização da frota de veículos de carga para coleta e retorno destes à Manufatura por meio da LR. Esta visão também estará disponível à Manufatura, graças ao sistema de geolocalização (GPS), e que poderá ser considerada no Planejamento da Produção;

- (5) Os resíduos, por sua vez, recebidos na Manufatura serão alocados no estoque de resíduos no qual os sensores inteligentes (IoT, leitores de código de barras e de RFID) contabilizam automaticamente e em tempo real as informações de origem e quantidade destes para que possam ser reutilizados no processo fabril;
- (6) As informações dos resíduos são os dados de entrada do Planejamento da Produção (Hartzel e Wood, 2017) através da camada Manufatura da arquitetura *blockchain* proposta. Esta visão da quantidade total de resíduos contribui com o Planejamento de demanda e, conseqüentemente, com a redução de recursos naturais, equalizando os níveis de estoque destes materiais que serão reutilizados no Planejamento de Produção;
- (7) Por fim, os resíduos recebidos são reutilizados para produção de produtos acabados disponíveis para entrega aos Clientes da Manufatura, fechando desta forma, o ciclo reverso do retorno de resíduos;
- (8) Todos os sistemas (*softwares*) envolvidos no retorno de resíduos, como por exemplo os sistemas de planejamento da produção, de gestão de estoques, gestão logística, entre outros, quanto no gerenciamento dos recursos de *hardware* como sensores inteligentes e de geolocalização (GPS), se beneficiam do protocolo de rede de conexão que permite a comunicação entre os múltiplos ambientes por meio da Internet disponível na camada Infraestrutura da arquitetura *blockchain*.

Portanto, o fluxo de dados e de resíduos em tempo real do cliente – ponto de origem do resíduo – até a Manufatura – local onde o resíduo será reutilizado – é viabilizado pela arquitetura *blockchain* proposta neste trabalho na qual todas os dados necessários para a LR dos resíduos são coletados (Bhushan et al., 2021), integrados com segurança e transparência à cadeia de suprimentos (Khan et al., 2022) e, portanto ao Planejamento da Produção, estando disponíveis aos usuários da arquitetura *blockchain* (Wu et al., 2021) envolvidos com o retorno de resíduos.

Neste contexto é proposta a arquitetura *blockchain* para o retorno de resíduos à Manufatura apresentada na Figura 8. Esta arquitetura desenvolvida se inspirou no modelo de arquiteturas de múltiplas camadas dos autores Zhang et al. (2019), Tan et al. (2020), Wang et al. (2020), Ismail et al. (2021) e Wu et al. (2021) e, desta forma, é composta por 4 camadas, a saber: Infraestrutura, Integração Blockchain-Cloud, Manufatura e Usuário.

Figura 8 – Arquitetura *blockchain* para o retorno de resíduos à Manufatura

Fonte:

Adaptado de Zhang et al. (2019), Tan et al. 2020), Wang et al. (2020), Ismail et al. (2021) e Wu et al. (2021)

4.1 Detalhando a Camada de Infraestrutura

A camada de Infraestrutura, de acordo com as propostas de Zhang et al. (2019) e Wang et al. (2020), responsável pela coleta, transmissão, pré-processamento e armazenamento de dados, é dividida em duas subcamadas: Entrada (*hardware*) e *Gateway (software)*. Na subcamada Entrada ocorre o gerenciamento dos recursos tecnológicos de *hardware* como sensores inteligentes IoT, etiquetas e leitores de identificação por radiofrequência RFID, impressoras e leitores de códigos de barra (Agnusdei et al., 2022) e aparelhos de geolocalização GPS. Os sensores inteligentes IoT podem ser usados para coleta dados (Khan et al., 2022) em todas as fases do ciclo de vida do produto (Wang et al., 2020) permitindo à LR e à Manufatura terem a visão precisa e em tempo real da localização e quantidade de materiais disponíveis para retorno (Chauhan et al., 2022). Já a *Gateway* é uma subcamada intermediária responsável pelos *softwares* de armazenamento e pré-processamento de dados e do protocolo de rede de conexão abrangendo um conjunto de normas que permite a comunicação pela Internet entre os múltiplos ambientes formados pelos recursos de *hardware* da camada de Entrada e pelas demais camadas da arquitetura *blockchain*, notadamente associados com outros sistemas de informação empresarial como os sistemas de planejamento, de gestão de armazém, e de gestão de transporte das empresas logísticas. Nesta subcamada ocorre também o pré-processamento de dados que engloba as atividades de limpeza, transformação e organização dos dados por meio da aplicação do processo ETL que tem por objetivo garantir a integração dos dados que suporta o protocolo de análise de tomada de decisão (Bala et al., 2017).

4.2 Detalhando a Camada de Integração Blockchain-Cloud

A camada de Integração Blockchain-Cloud, baseada nos trabalhos de Wang et al. (2020), Ismail et al. (2021) e Wu et al. (2021), fornece os serviços de processar e registrar os dados referentes a todas as fases do ciclo de vida do produto, coletados pela subcamada de Entrada e transmitidos pela subcamada *Gateway* e, de gerenciar e fornecer a rede *blockchain* como um serviço (BaaS, *Blockchain as a Service*) alocado na Nuvem (*Cloud*) na qual o fornecimento de serviços de computação, incluindo servidores, armazenamento, bancos de dados, rede, *software* é realizado diretamente pelo fornecedor de serviços de computação na nuvem (Wang et al., 2020). Neste caso, a *blockchain* como um serviço (BaaS) permite que as organizações usem soluções baseadas em nuvem para construir, hospedar, criar aplicativos *blockchain* e contratos inteligentes e funções na infraestrutura *blockchain* desenvolvida por um fornecedor (Ismail et al., 2021). Esta camada, portanto, é composta de 2 subcamadas, a saber: Computação Distribuída e Aplicações, considerando para esta camada a *blockchain* do tipo

privada, restrita a um grupo de participantes selecionados que desejam manter maior controle sobre a rede e com privacidade dos dados (Ismail et al., 2021). Na *blockchain* privada, os participantes são autorizados e verificados antes de serem admitidos na rede, garantindo a confidencialidade e segurança das transações, de acordo com Ismail et al. (2021).

A subcamada Computação Distribuída fornece quatro serviços *blockchain*: Gerenciamento de Serviços *blockchain*, Gerenciamento dos Usuários, Protocolos de Consenso e SHA-256. O Gerenciamento de Serviços *blockchain* (Zhang et al., 2019) é responsável por registrar e processar os dados fornecidos pelos membros da cadeia de suprimentos. O Gerenciamento de Usuários faz a gestão de acessos e fornecimento de assinaturas digitais que são chaves primárias que permitem o acesso dos usuários à rede *blockchain*. O Protocolo de Consenso tem por objetivo confirmar a validação de um bloco gerado por um nó através do consenso com o maior número possível de nós da rede *blockchain*. O SHA-256, que utiliza um algoritmo de criptografia internamente para o embaralhamento dos dados, garante que todos os dados enviados a rede *blockchain* sejam protegidos automaticamente (Yang et al., 2019).

A subcamada Aplicações, inspirada nos trabalhos de Zhang et al. (2019), Tan et al. (2020), Wang et al. (2020) e Wu et al. (2021), é composta por quatro aplicações, a saber: Gerenciamento de Crédito Sustentável, Serviços de Rastreabilidade (Zhang et al., 2019 e Wang et al., 2020), Serviços de Análise de Dados (Zhang et al., 2019, Tan et al., 2020, Wang et al., 2020) e Serviços de Consulta de Dados (Wang et al., 2020). O Gerenciamento de Crédito Sustentável, como proposta singular deste trabalho, é um serviço responsável pelo cálculo do valor financeiro creditado aos clientes da Manufatura em função do retorno de materiais e resíduos em bom estado de reutilização. O cálculo do crédito é realizado por um Contrato Inteligente, baseado na tecnologia *blockchain*, no qual os usuários da arquitetura podem acessar informações (Shih et al., 2021) como a localização e o código dos clientes da Manufatura e das empresas logísticas que realizarem o transporte de resíduos, a quantidade de resíduos a serem retornados e o custo do frete de transporte da origem do resíduo alocados nos clientes até o destino de reutilização pela Manufatura. O crédito é calculado pela somatória dos resíduos disponíveis para coleta, multiplicados pelo custo unitário destes resíduos que deve ser informado pela Manufatura e reduzido do custo do frete de transporte dos resíduos da origem (clientes da Manufatura) ao destino (Manufatura), conforme apresentado na Equação 1. As informações sobre os custos unitários de materiais e dos fretes de transporte são de responsabilidade exclusiva da Manufatura e, assim, devem ser alimentadas pela mesma no contrato inteligente intitulado Crédito Sustentável. Cabe exclusivamente aos clientes da Manufatura definirem quando utilizar o valor disponível do Crédito Sustentável para

pagamento de eventuais faturas, solicitando a sua utilização ao departamento de Pagadoria da Manufatura. O serviço de Gerenciamento de Crédito Sustentável garante a visão sustentável à cadeia de suprimentos e aos membros da rede logística (Rejeb et al., 2022) através do retorno de resíduos ao processo fabril (Eldrandaly et al., 2022). Em contrapartida, os resíduos que não estão em condições de reutilização devem ser destinados ao aterro sanitário pelos clientes da Manufatura.

$$CredSust = \{ \sum (QtdeResíduos * CustoUnit_{Resíduo}) - CustoFrete_{Resíduos} \} \quad (1)$$

Onde:

- CredSust: valor financeiro do crédito sustentável
- QtdeResíduos: quantidade de resíduos disponíveis para coleta
- CustoUnit_{Resíduo}: custo unitário do resíduo
- CustoFrete_{Resíduos}: custo do frete dos resíduos disponíveis para coleta da origem (clientes da Manufatura) ao destino (Manufatura)

O Serviço de Rastreabilidade, inspirada pelos trabalhos de Zhang et al., (2019) e Wang et al., (2020), permite que os usuários rastreiem as informações do ciclo de vida do produto em tempo real, imputando transparência e visibilidade aos membros da cadeia de suprimentos (Ebinger e Omondi, 2020). O Serviço de Análise de Dados, baseados nos trabalhos de Zhang et al. (2019, Tan et al. (2020) e Wang et al., (2020), consiste em processar e analisar os dados de maneira que possam ser utilizados de forma estratégica na tomada de decisão (Zhang et al., 2019). Nesta etapa ocorrem as análises descritivas nas quais são realizados cálculos referentes aos dados capturados pelos sensores inteligentes IoT (Raj Kumar Reddy et al., 2021) com relação a quantidade de resíduos disponíveis para coleta e a localização dos clientes e que podem ser utilizadas em análises de consumo de produtos por cliente e por região e na estratégia de roteirização para as empresas logísticas. Neste Serviço também podem ser realizadas as análises preditivas com uso de técnicas de Aprendizado de Máquina (Shaikh et al., 2022) de modo a prever eventos ou comportamentos baseados em dados históricos e aferir mais assertividade nos resultados analisados que suportam decisões nos níveis estratégico, tático e operacional (Esmaeilian et al., 2020). O Serviço de Consulta de Dados, adaptado do trabalho de Wang et al. (2020), garante que os dados e informações dos clientes da Manufatura, dos consumidores e dos resíduos sejam registrados nas bases de dados em tempo real (Soldatos et al., 2020). Estes dados podem ser utilizados nas etapas iniciais de levantamento de dados e

previsão de demanda de materiais no processo de planejamento, conforme já apresentado na **Error! Reference source not found.**, com o objetivo de otimizar a gestão de estoque de materiais na Manufatura por meio da redução do consumo de recursos naturais direcionados efetivamente para a manufatura e, por conseguinte, mitigação de impactos ambientes.

4.3 Detalhando a Camada Manufatura e Camada Usuário

A camada Manufatura compreende as atividades de planejamento da produção que abrange à reutilização dos resíduos recebidos por meio da LR, além das atividades do departamento responsável por executar a utilização dos créditos financeiros adquiridos pelos clientes da Manufatura em função da quantidade de resíduos retornados ao processo fabril.

Já a camada Usuário, orientada pelos trabalhos de Zhang et al. (2019), Tan et al. (2020) e Wang et al. (2020), é composta pelos membros da cadeia de suprimentos no qual os usuários podem acessar os dados compartilhados em tempo real (Agrawal et al., 2021) referentes ao retorno de resíduos e utilizados nas aplicações Gerenciamento de Crédito Sustentável, Serviços de Rastreabilidade, Serviços de Análise de Dados e Serviços de Consulta de Dados da camada Integração Blockchain-Cloud.

4.4 Considerações sobre a arquitetura proposta

A arquitetura *blockchain* proposta neste trabalho ressalta as vantagens em utilizar uma plataforma digital baseada na tecnologia *blockchain* no que tange a possibilidade de efetuar trocas seguras de informações sobre o retorno de materiais e de facilitar a rastreabilidade de diferentes entidades como produtos, materiais e resíduos entre as partes interessadas, suportando, desta forma, as atividades da LR, alinhado a proposta do estudo de Soldatos et al. (2020).

Além disso, podem ser destacados os benefícios por meio de sua natureza descentralizada e segura que protege a confiabilidade e a usabilidade das informações trocadas entre os vários membros da cadeia de suprimentos em processos logísticos reversos, de acordo com Dasaklis et al. (2020).

5 INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA

O Relatório Setorial da Indústria de Móveis aponta que o Brasil ocupa a sexta posição no ranking da produção mundial de móveis, segundo a Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário (Abimóvel, 2022). Neste contexto, este projeto é baseado no estudo de uma empresa do setor de painéis de madeira reconstituída, intitulada neste estudo como empresa ALFA, que possui unidades fabris e florestais localizadas nos Estados de São Paulo (SP), Minas Gerais (MG) e Rio Grande do Sul (RS). Sua área de negócios é dividida em: (i) Divisão Florestal: plantio de florestas e venda de eucalipto e, (ii) Divisão Madeira: produção de painéis de madeira reconstituída. O portfólio é constituído por produtos organizados em pacotes de chapas de largura de 1.850 mm e comprimento de 2.750 mm, nas espessuras de 6, 15, 18 e 25 mm. Os produtos são classificados em painéis de madeira sem revestimento do tipo MDP – painel de partículas de densidade média (do inglês, *Medium Density Particleboard*) e MDF – painel de fibras de densidade média (do inglês, *Medium Density Fiberboard*), e com revestimento melamínico e texturizado. A empresa atende os canais de venda Indústria e Varejo no mercado nacional nos quais as entregas aos clientes são feitas em transporte rodoviário das fábricas diretamente aos clientes. Segundo a Gerência de Planejamento da ALFA, cerca de 80% das vendas para o canal Indústria concentram-se nos principais polos moveleiros do Brasil localizados nas regiões de Linhares (Espírito Santo), Ubá (Minas Gerais), Mirassol (São Paulo), Arapongas (Paraná) e Serra Gaúcha (Rio Grande do Sul), conforme identificados na Figura 9.

Figura 9 – Localização das plantas fabris e dos principais polos moveleiros do Brasil

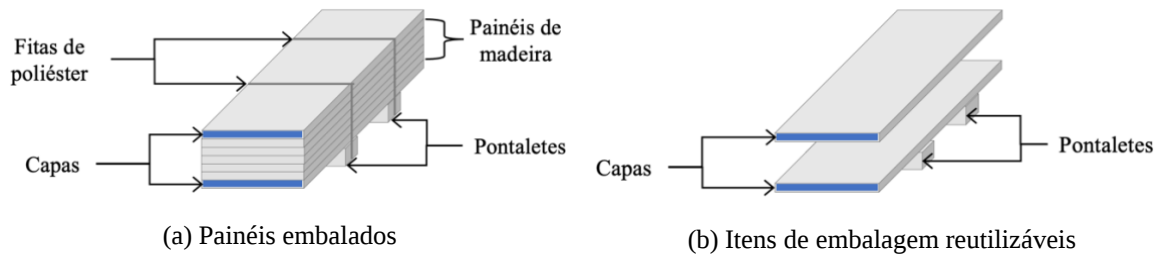


Fonte: Elaborado pelo autor

Os pacotes de painéis de madeira possuem embalagens padronizadas de acordo com a dimensão dos painéis (Figura 10a). Cada embalagem é composta dos seguintes itens, a saber: duas capas que são refugos de painel de madeira advindas do processo produtivo e que têm a função de proteger o produto acabado e, de pontaletes colocados equidistantes na base das embalagens com o objetivo de suportar os painéis de madeira e permitir sua movimentação por empilhadeiras (Figura 10b), além de fitas plásticas destinadas à amarração dos pacotes de painéis. A quantidade de pontaletes por embalagem obedece a um procedimento interno em função do comprimento dos painéis. Os pontaletes são produzidos por fornecedores externos e usam como matéria-prima painéis refugados do processo produtivo fornecidos pelas fábricas de painéis.

Cabe ressaltar que, segundo a ALFA, alguns painéis de primeira qualidade são destinados obrigatoriamente para serem utilizados como capa, uma vez que, o rendimento de qualidade da linha de produção de painéis alcança patamares elevado. O rendimento de qualidade (RQ) mede o total de painéis sem defeitos de qualidade em função do total de painéis produzidos. Ou seja, quanto maior o RQ, menos refugo na produção e, consequentemente, menos material destinado para ser utilizado como capas de produtos acabados.

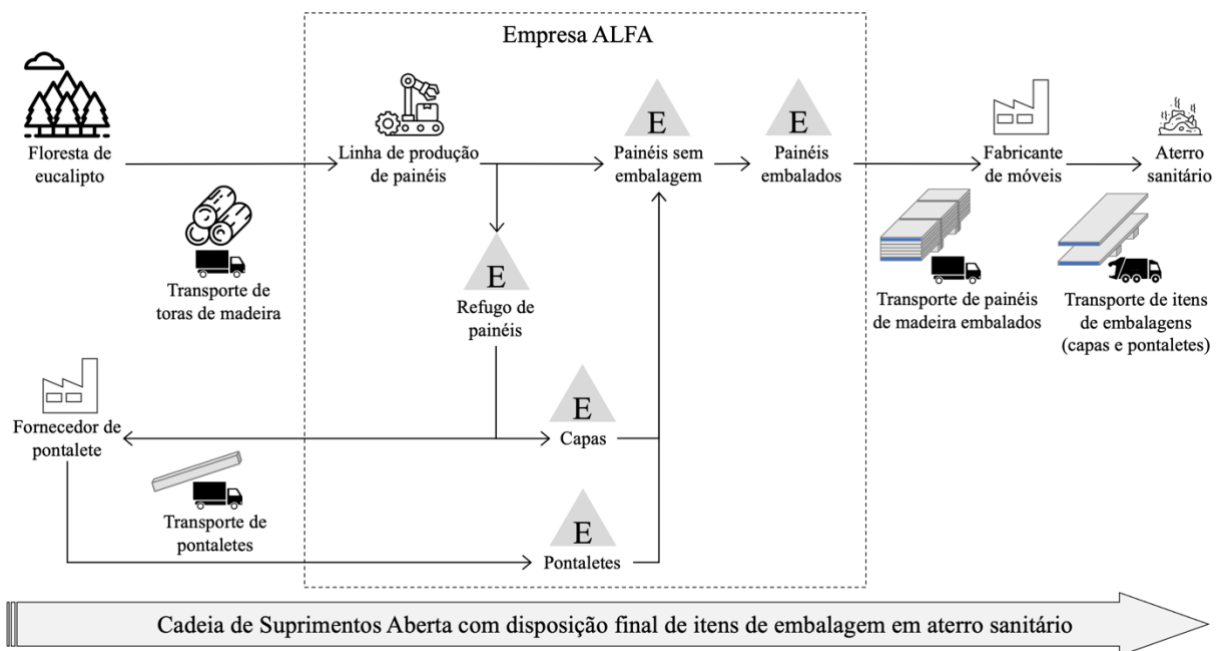
Figura 10 – Produto final e itens de embalagem



Fonte: Elaborado pelo autor

A problemática desta pesquisa concentra-se na impossibilidade de reutilização de itens de embalagens alocados nos clientes como resíduos em função da ausência de um ecossistema no qual as informações são trocadas de forma segura e em tempo real. A impossibilidade de reutilização destes itens de embalagem tem impacto direto no aumento do consumo de recursos naturais e na perda de lucratividade pela utilização de produtos de primeira qualidade como capas e pontaletes de embalagem de produto e que poderiam ser vendidos como produtos de portfólio. Estes resíduos são originários no processo produtivo da indústria moveleira durante a atividade de desembalagem dos painéis de madeira e, posteriormente o descarte deles em aterro sanitário. Assim, por não haver reaproveitamento das capas e pontaletes, estes itens, que muitas vezes estão em boas condições, são descartados, conforme Figura 11, criando potenciais impactos ambientais pela disposição final destes itens em aterros sanitários.

Figura 11 – Ciclo de vida de itens de embalagem com disposição final em aterro sanitário



Fonte: Elaborado pelo autor

Desta forma, a aplicação de uma arquitetura baseada na tecnologia *blockchain* servirá como o ecossistema necessário para o gerenciamento de uma cadeia de suprimentos sustentável permitindo o reaproveitamento de resíduos (Kayikci et al., 2022), ou seja, dos itens de embalagens deste estudo de caso em questão, mitigado os impactos ambientais ocasionados pelo descarte de itens que poderiam ser reaproveitados (Sahoo et al., 2021) e, consequentemente, pelo consumo de recursos naturais destinados a produção exclusivamente destes itens pela impossibilidade de reutilização dos mesmos pela ALFA.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES: IMPLEMENTAÇÃO CONCEITUAL DA ARQUITETURA BLOCKCHAIN PROPOSTA

A arquitetura *blockchain* proposta e apresentada na seção quatro (Figura 8) para o retorno de resíduos e materiais em uma cadeia de suprimentos foi contextualizada para a empresa ALFA e está ilustrada na Figura 12 como uma proposta de solução para o cenário de reaproveitamento dos itens de embalagens.

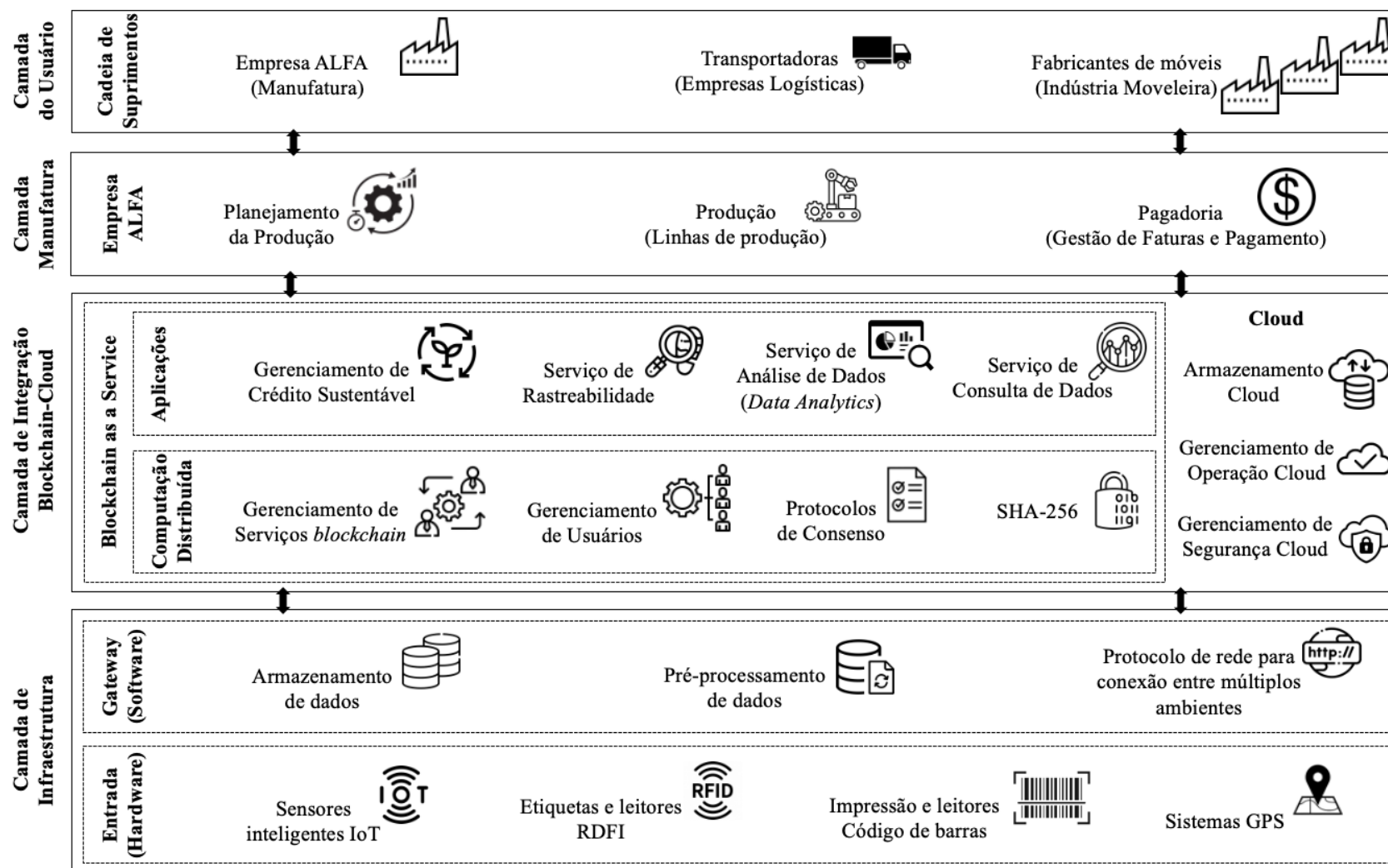
Na implementação desta arquitetura considerando este estudo de caso, os membros da cadeia de suprimentos em questão são: a indústria de painéis de madeira (empresa ALFA), as empresas logísticas responsáveis pela entrega destes painéis e a indústria moveleira, clientes da empresa ALFA em questão.

A cada envio automático de dados, captados por sensores inteligentes IoT, para a arquitetura *blockchain* proposta, um bloco é gerado (Agnusdei et al., 2022) contendo, entre outros, as informações sobre a quantidade exata dos itens de embalagens – capas e pontaletes – disponíveis por cliente para serem retornados à ALFA. Os dados contidos no bloco gerado podem ser consultados pelos membros da cadeia de suprimentos através da arquitetura *blockchain* que permite rastrear a localização precisa destes itens em tempo real, contribuindo para as atividades da LR (Hennemann Hilario da Silva e Sehnem, 2022).

Além disso, a empresa ALFA terá o conhecimento das informações exatas dos itens de embalagens em trânsito sabendo a data precisa do recebimento destes itens uma vez que as transportadoras podem compartilhar igualmente os dados de roteirização com a empresa ALFA, tudo em tempo real.

Neste cenário evidencia-se que a arquitetura *blockchain* proposta apoia a previsão de demanda de itens de embalagem do processo mensal do Planejamento da Produção da ALFA, por meio de dados em tempo real (Soldatos et al., 2020) de itens de embalagem disponíveis, reabastecendo seus estoques e as linhas de produção e, suportando as decisões nos níveis estratégico, tático e operacional (Esmaeilian et al., 2020).

Figura 12 – Arquitetura baseada na tecnologia *blockchain* para o retorno de itens de embalagens à empresa ALFA



Fonte: Adaptado de Zhang et al. (2019), Tan et al. 2020), Wang et al. (2020), Ismail et al. (2021) e Wu et al. (2021)

Esta pesquisa destaca igualmente a possibilidade de fomento financeiro através do incentivo rentável de retornar resíduos para os fabricantes de móveis e pela redução de custos no que tange ao consumo de recursos naturais em função da reutilização de itens de embalagens pela empresa ALFA, conforme ressaltado na seção anterior deste trabalho. Desta forma, o Gerenciamento de Crédito Sustentável é o serviço fornecido pela arquitetura *blockchain* no qual o contrato inteligente intitulado Crédito Sustentável executa o cálculo do valor financeiro creditado aos fabricantes de móveis em função do retorno e reutilização de itens de embalagens de seus estoques diretamente à ALFA, conforme apresentado na Equação 2.

$$CredSust = \{ \sum (QtdeCapa * Custo Unit_{capa}) + \sum (QtdePontaleta * Custo Unit_{pontaleta}) - Custo Frete \} \quad (2)$$

Onde:

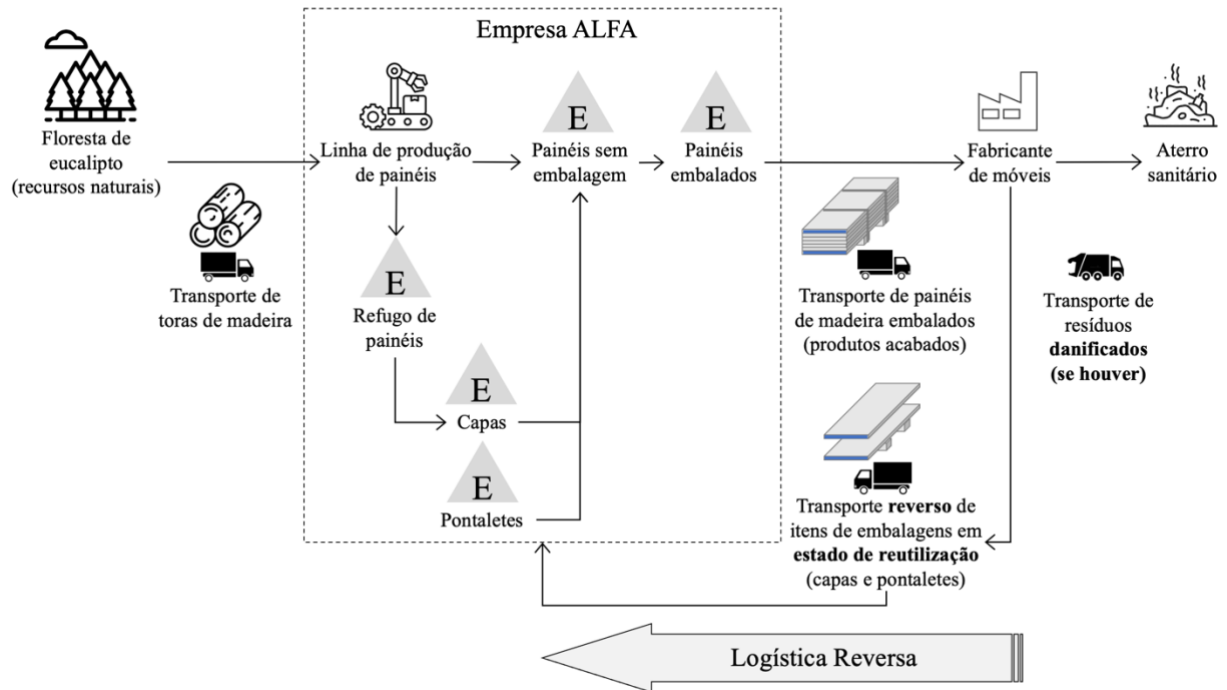
- CredSust: valor financeiro do crédito sustentável
- QtdeCapa: quantidade de capas disponível em estoque
- QtdePontaleta: quantidade de pontaletes disponível em estoque
- CustoUnit_{capa}: custo unitário da capa fornecido pela ALFA
- CustoUnit_{pontaleta}: custo unitário do pontalete fornecido pela ALFA
- Custo Frete: custo do frete dos itens de embalagem da origem (fabricante de móveis) ao destino (ALFA)

O cálculo do crédito leva em consideração as informações sobre a localização e código dos fabricantes de móveis, a quantidade de capas e pontaletes disponíveis em estoque a serem retornados, o valor dos custos unitários dos itens de embalagem e o custo do frete transporte dos itens de embalagens da origem (fabricantes de móveis) ao destino (ALFA), fornecidos pela mesma no contrato inteligente em questão. Ressalta-se a responsabilidade do fabricante de móveis em definir quando utilizar o valor disponível do Crédito Sustentável para pagamento de faturas, informando, desta forma, ao departamento de Pagadoria da ALFA sobre sua eventual utilização. Cabe ressaltar que itens de embalagens danificados devem ser destinados ao aterro sanitário pela impossibilidade de reutilização no processo de embalagem de novos produtos.

Portanto, a proposta da arquitetura *blockchain* atende à necessidade de rastrear com previsão e em tempo real ao longo da cadeia de suprimento (Dasaklis et al., 2020) os itens de embalagem em estado de reutilização durante o retorno dos mesmos, tendo como ponto de

origem os fabricantes de móveis até o destino final que será a ALFA, através das atividades da LR, conforme exposto na Figura 13.

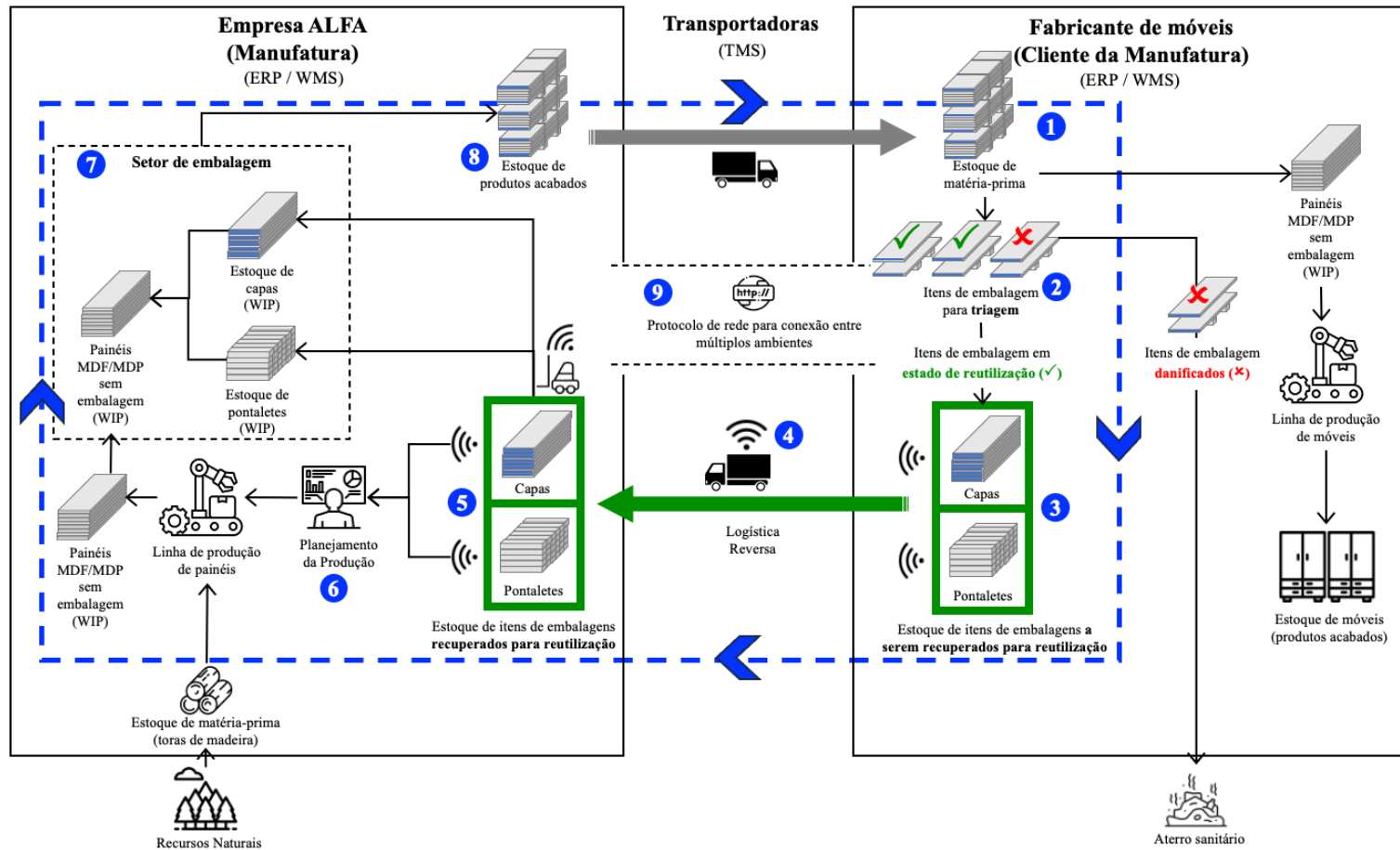
Figura 13 – Cadeia de Suprimentos Sustentável com Logística Reversa



Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir detalha-se o funcionamento da cadeia de suprimentos sustentável da ALFA com a LR considerando a arquitetura *blockchain* proposta que está ilustrada na Figura 14. Esta figura descreve a modelagem conceitual do cenário futuro do retorno de itens de itens de embalagens desde o recebimento pelo fabricante de móveis dos pacotes de painéis devidamente embalados pela ALFA e enviado pelas transportadoras terceirizadas e contratadas para este fim.

Figura 14 – Modelagem conceitual do cenário futuro de retorno de itens de embalagens à ALFA



- (1) O fabricante de móveis recebe os produtos acabados advindos da ALFA e entregues pelas transportadoras de carga;
- (2) O fabricante de móveis desembala os produtos acabados enviando os painéis para o processo produtivo de móveis e separando os itens embalagens em estado de reutilização de itens que eventualmente possam estar danificados impossibilitando seu reuso no processo de triagem. Caso haja itens de embalagens danificados, os mesmos deverão ser destinados a aterros sanitários;
- (3) Neste momento, os itens de embalagens em estado de reutilização deverão ser alocados em estoques munidos com sensores inteligentes (IoT, leitores de código de barras e de RFID) no fabricante de móveis para que o código de identificação destes itens possam ser lidos, validando a deposição dos mesmos no estoque de retorno de itens de embalagens e, alimentando a arquitetura *blockchain* com informações em tempo real sobre a localização tanto do fabricante de móveis quanto do total de itens de embalagens disponíveis para retorno à ALFA;
- (4) As transportadoras, por sua vez, poderão acessar em tempo real todas as informações referentes à quantidade total de itens de embalagens estocados por localização geográfica dos fabricantes de móveis e, assim, definir a roteirização dos caminhões para coleta e retorno destes nas atividades da LR. Os caminhões munidos por aparelhos de geolocalização (GPS), disponibilizam estes dados na arquitetura *blockchain*;
- (5) Os itens de embalagens recebidos pela ALFA serão alocados em estoques distintos para capas e para pontaletes nos quais os sensores inteligentes (IoT, leitores de código de barras e de RFID) possam determinar precisa e automaticamente em tempo real a quantidade e origem destes e, assim, alimentar o Planejamento da Produção, além do departamento de Pagadoria que utilizará o crédito financeiro gerado pelo contrato inteligente Crédito Sustentável para pagamento de faturas solicitadas pelo fabricante de móveis, através da camada Manufatura;
- (6) Os totais de capas e pontaletes serão considerados durante o levantamento de dados alimentando o Planejamento de demanda e equilibrando os estoques destes itens que serão reutilizados no Planejamento de Produção e, com isso, reduzindo o consumo de recursos naturais e de produtos de primeira qualidade destinados a suprir a demanda por itens de embalagens frequentemente escassos;

- (7) Estes itens são reintegrados ao processo produtivo de painéis sendo movimentados por empilhadeiras com sensores RFID para os estoques destes materiais no Setor de Embalagem de produtos acabados da ALFA;
- (8) Por fim, os painéis sem embalagens são movimentados para o Setor de Embalagens da ALFA para que os itens de embalagens retornados possam ser reutilizados no processo de embalagem dos produtos acabados encerrando um ciclo reverso do retorno de itens de embalagens para a ALFA;
- (9) Destacam-se que os sistemas de gerenciamento empresarial (ERP, WMS e TMS) envolvidos nas atividades de retorno de itens de embalagens comunicam-se mutualmente por meio do protocolo de rede de conexão na camada Infraestrutura da arquitetura *blockchain* proposta.

6.1 Detalhando o crédito sustentável para os fabricantes de móveis

O bloco gerado pela rede *blockchain* contém as informações necessárias para o rastreamento de capas e pontaletes durante o processo de retorno deles na LR, a saber: dados dos fabricantes de móveis (código, razão social e endereço completo), data e hora da coleta dos resíduos pelas transportadoras e quantidade de capas e pontaletes que serão coletados.

Com o objetivo de fomentar práticas sustentáveis nos clientes, ALFA precisa definir uma política de recuperação de resíduos de embalagens que apresente condições de reutilização de itens utilizados nas embalagens de produtos e que viabilize o processo de geração e utilização dos créditos financeiros pelos fabricantes de móveis advindos da reutilização destes itens pelos fabricantes de painéis. No entanto, as capas e os pontaletes danificados e que impossibilitem sua reutilização devem ser destinados à aterros sanitários.

Os itens de embalagens reutilizáveis são contabilizados na arquitetura *blockchain* e creditados aos fabricantes de móveis. O cálculo do crédito corresponde a soma dos produtos das quantidades de capas e de pontaletes pelos seus respectivos custos unitários considerados no exercício vigente descontado do custo de frete das Transportadoras, conforme Figura 15 tendo o memorial de cálculo apresentado na seção anterior.

Figura 15 – Simulação do cálculo do crédito sustentável¹

¹ Valores fictícios utilizados apenas para efeito de simulação do cálculo do crédito sustentável.

Contrato Inteligente - Crédito Sustentável

Custo Unitário Capa	\$38,00		
Custo Unitário Pontalete	\$0,50		

Cliente	Item de embalagem	Quantidade (peças)	Valores (R\$)
Fabricante de móveis 1 Localização: RS	Capa	650	\$24.700,00
	Pontalete	780	\$390,00
	Crédito Parcial	1.430	\$25.090,00
	Frete (RS - SP)		\$3.800,00
	Crédito Total	-	\$28.890,00
Fabricante de móveis 2 Localização: SC	Capa	1.550	\$58.900,00
	Pontalete	1.850	\$925,00
	Crédito Parcial	3.400	\$59.825,00
	Frete (SC - SP)		\$2.600,00
	Crédito Total	-	\$62.425,00
...			
Fabricante de móveis n Localização: X	Capa	380	\$14.440,00
	Pontalete	530	\$265,00
	Crédito Parcial	910	\$14.705,00
	Frete (X - SP)		\$1.200,00
	Crédito Total	-	\$15.905,00

Fonte: Elaborado pelo autor

O resultado do processo de cálculo apresenta o saldo de créditos disponíveis por cliente, mas ainda bloqueados para utilização. O desbloqueio dos créditos ocorre durante o processo de confirmação de recebimento dos itens de embalagens pelo fabricante de painéis por meio da captação destes itens por sensores inteligentes IoT que confirmaram a alocação destes materiais em estoque. Os créditos obtidos são utilizados exclusivamente para pagamento das faturas geradas na compra de painéis pelos clientes do setor moveleiro.

6.2 Benefícios da arquitetura *blockchain* para a empresa ALFA

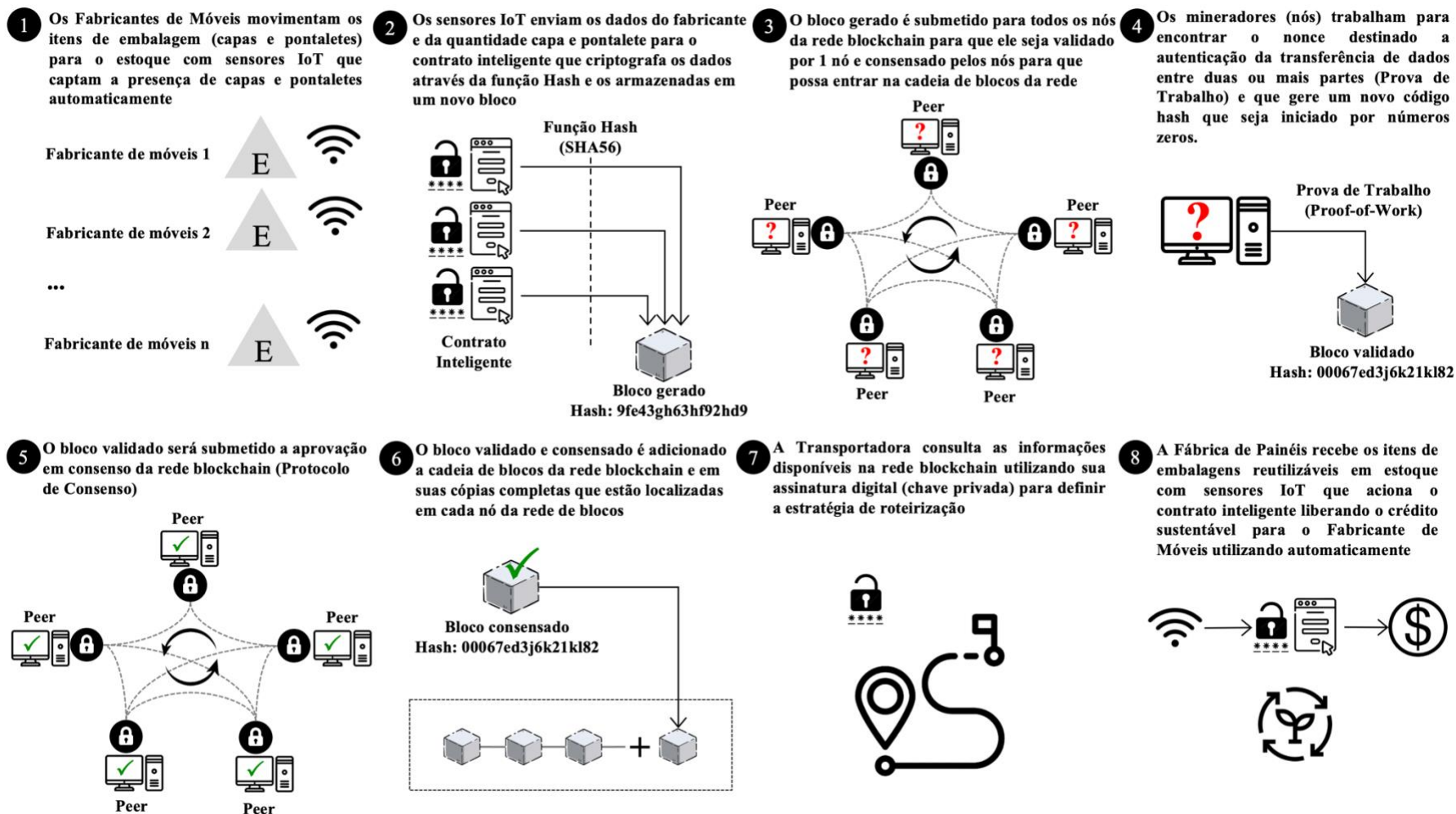
As informações de quantidade de capas e pontaletes fornecidas pelos fabricantes de móveis, a previsão de recebimento destes itens de embalagens e os créditos financeiros gerados pelo contrato inteligente Crédito Sustentável são disponibilizadas na arquitetura *blockchain* para a empresa ALFA. A quantidade de itens, por sua vez, faz parte da entrada dos dados que

alimentam a etapa inicial de Levantamento de Dados do processo mensal de planejamento no qual os estoques de capas de pontaletes são atualizados e, por conseguinte, sustentam as etapas de Planejamento da Demanda e Planejamento da Produção (Jaipuria e Mahapatra, 2014), neste caso em estudo, da empresa ALFA.

A Figura 16 demonstra o processo de geração do crédito sustentável por meio da criação de um bloco desde a captação das informações dos itens de embalagens disponíveis em estoque de recuperação no fabricante de móveis até o recebimento destes itens pela ALFA e o posterior desbloqueio do crédito ao fabricante de móveis.

Após a confirmação automática de recebimentos dos itens de embalagens reutilizáveis pela ALFA realizada por meio de sensores inteligentes IoT que captam a entrada em estoque específico para capas e pontaletes retornáveis, os créditos financeiros são desbloqueados e endereçados, automaticamente pelo contrato inteligente (Shaikh et al., 2022) Crédito Sustentável ao departamento de Pagadoria da ALFA para que possam ser utilizados exclusivamente para eventuais pagamentos de faturas, de acordo com a estratégia dos fabricantes de móveis, conforme detalhado na Figura 16. Todavia, para que o pagamento possa ser cumprido, a ALFA deve elaborar uma política comercial específica que descreva os parâmetros para a utilização dos créditos sustentáveis em faturas em aberto e para orientar os departamentos Financeiros tanto da ALFA quanto do fabricante de móveis.

Ademais, é importante que a ALFA redija uma Política de Recuperação de Resíduos na qual as diretrizes, normas e regras sejam definidas e disseminadas às partes interessadas. A atuação protagonista da ALFA pode impactar diretamente na melhoria da imagem de marca, na fidelização de clientes interessados em adotar práticas ESG e no aumento de participação de mercado, tornando-se uma forte vantagem competitiva frente aos principais concorrentes, além de contribuir efetivamente para o desenvolvimento de sociedades mais sustentáveis.

Figura 16 – Geração do crédito sustentável na arquitetura *blockchain*

Fonte: Elaborado pelo autor

6.3 Benefícios da arquitetura *blockchain* para as Transportadoras

O uso de tecnologias emergentes pode manter uma empresa logística competitiva e melhorar o aprimoramento dos processos de coleta, transferência, armazenagem e distribuição (Yu et al., 2022). Ao incluir a tecnologia no gerenciamento do transporte de cargas, as transportadoras obter um melhor acompanhamento das etapas da operação com o intuito de otimizar os processos logísticos (Gong, Xie, et al., 2022).

Neste cenário, os benefícios encontrados na adoção da *blockchain* pelas empresas logísticas suportam as práticas circulares e do ESG:

- (i) Auxiliar na conservação e na manutenção dos veículos, resultando em economia de combustível e consequente redução da emissão de combustíveis fósseis (Nowakowski et al., 2017). O setor dos transportes rodoviários é responsável por uma grande porcentagem de emissão de gases que causam o Efeito Estufa, especialmente das emissões de CO₂ na qual a poluição proveniente dessas emissões tem efeitos perigosos sobre os seres humanos e sobre todo o ecossistema (Lin et al., 2014);
- (ii) Otimizar a roteirização da frota de veículos: os blocos gerados com as informações dos itens de embalagens captados automaticamente por sensores nos fabricantes de móveis alimentam as solicitações de transporte reverso e de roteirização estratégica das empresas logísticas. Tendo posse da quantidade total de capas e pontaletes e da localização geográfica dos clientes disponíveis na rede *blockchain* em tempo real, as transportadoras podem definir o tipo de caminhão em função do cálculo da cubagem das cargas e o melhor plano de roteirização com o objetivo de equilibrar de forma eficiente o peso bruto da carga com o espaço físico do caminhão evitando a ociosidade do veículo;
- (iii) Melhorias no nível de serviço: a gestão da informação auxilia o mapeamento dos custos logísticos relevante para que o planejamento do transporte de cargas seja executado de forma eficiente considerando a otimização do tempo de entrega e a melhoria das margens operacionais da organização;
- (iv) Melhoria na jornada de trabalho dos operadores logísticos: otimizar a roteirização da frota de veículos traz melhorias positivas na qualidade de vida dos motoristas de caminhão minimizando fatores de estresse (Hossin e Sabuj, 2019) e trazem luz para

a necessidade de se estabelecer políticas de prevenção de doenças ocupacionais e de promoção de saúde para os operadores logísticos.

Portanto, a roteirização da frota de veículos, suportada pela arquitetura *blockchain* proposta e aliada às práticas ESG, contribui com a otimização de recursos logísticos (Esmaeilian et al., 2020), aumentando do nível de serviço e reduzindo de custos operacionais que são indicadores de desempenho essenciais para a competitividade e perenidade das empresas logísticas (Hossin e Sabuj, 2019).

7 CONCLUSÃO

A pauta ambiental e os efeitos climáticos ocupam um espaço relevante na agenda mundial. Nas últimas décadas a sociedade em geral e as organizações discutem com preocupação o consumo exacerbado de recursos naturais acima do limite de recuperação ambiental e formas plausíveis de reutilização de recursos e resíduos. Corroborando o tema, a adoção do conceito ESG tem por objetivo a busca do equilíbrio entre os aspectos Ambiental, Social e de Governança na gestão dos negócios de uma organização, levando em consideração a preocupação citada. As atividades operacionais que permitem a reciclagem e a reutilização de materiais e resíduos, contribuem para a conservação do meio ambiente. Estes processos são eficazes para proteger a biodiversidade, prezar pelos recursos naturais e para a redução de desastres ambientais e contribuem para a construção de uma sociedade mais sustentável.

Neste contexto, o gerenciamento de resíduos elucida os procedimentos de planejamento, implementação e gestão dos processos produtivos levando em consideração a redução tanto da destinação de resíduos em aterros sanitários como do consumo de recursos naturais, adotando sistematicamente um conjunto de ações relacionadas à coleta, armazenamento e tratamento, transporte e destino final voltados à reutilização de resíduos. Tendo em vista a análise do ciclo de vida dos produtos, o gerenciamento de resíduos promove a redução de custos através na reutilização de materiais e, contribuindo para o desenvolvimento sustentável das organizações. As empresas que são fontes geradoras de resíduos sem reutilização devem buscar formas de mitigar esta geração, promovendo o máximo de reaproveitamento e reciclagem possíveis e garantindo a destinação final ambientalmente adequada aos resíduos não reutilizáveis.

Neste cenário, a tecnologia *blockchain* apresenta contribuições significativas para a LR e o planejamento de produção de empresas, especialmente diante dos desafios ambientais e da busca por práticas sustentáveis. A gestão eficaz de resíduos é fundamental, e a *blockchain* se destaca ao proporcionar transparência, rastreabilidade, imutabilidade e descentralização nas operações.

7.1 A tecnologia *blockchain* e o suporte aos processos da Logística Reversa

A tecnologia *blockchain* oferece suporte crucial à LR e ao planejamento de produção de uma empresa. O desenvolvimento exponencial da tecnologia, aliado à Inteligência Artificial, possibilita projetos baseados em *blockchain*, destacando-se pela escalabilidade e interoperabilidade. A utilização de contratos inteligentes robustos, descentralizados e eficientes é ressaltada como solução para os desafios da LR, como a transparência na troca de informações, rastreabilidade e gerenciamento sustentável de resíduos. A rastreabilidade

oferecida pela *blockchain* possibilita a obtenção da quantidade total de estoque de resíduos disponíveis para reutilização, alimentando o planejamento da produção e o planejamento da demanda. Isso, por sua vez, contribui para o reabastecimento de estoques, previsão de demanda e redução do consumo de matérias-primas e recursos naturais.

Essa arquitetura *blockchain*, portanto, surge como resposta eficaz aos desafios logísticos, garantindo confiabilidade nas informações e imutabilidade dos dados na Cadeia de Suprimentos. A capacidade de retornar itens descartados para a manufatura, mesmo em boas condições, destaca o potencial da tecnologia *blockchain* em eliminar obstáculos na LR, mitigando a exploração excessiva de recursos naturais para atender às demandas do mercado.

7.2 As contribuições da tecnologia *blockchain* à Ciência, à sociedade e às organizações

A tecnologia *blockchain* é um pilar essencial no suporte à LR e no aprimoramento do planejamento de produção, integrando-se aos princípios ESG (Ambiental, Social e de Governança). Ao desenvolver políticas sustentáveis e práticas reversas, a *blockchain* assegura benefícios tangíveis às cadeias de suprimentos. Essa arquitetura promove o equilíbrio ambiental, social e de governança, permitindo o gerenciamento eficaz de resíduos, redução do consumo de recursos naturais e melhorias nas relações de trabalho. A criptografia da *blockchain*, por sua vez, contribui para a proteção de dados e privacidade, enquanto contratos inteligentes sustentados pela tecnologia incentivam práticas reversas confiáveis na cadeia de suprimentos, melhorando a imagem da empresa e influenciando positivamente o comportamento dos consumidores. A tríade blockchain–LR–ESG, portanto, garante metas de desenvolvimento sustentável, competitividade e perenidade das organizações, atraindo investidores que valorizam empresas comprometidas com responsabilidades ESG.

A pesquisa evidencia as conexões entre a tecnologia *blockchain*, o gerenciamento sustentável da cadeia de suprimentos e a LR. Destacam-se as características da *blockchain*, como descentralização, rastreabilidade e transparência, como elementos cruciais para mitigar desafios logísticos e fortalecer a resiliência da cadeia de suprimentos. A integração da *blockchain* com tecnologias emergentes, como IoT e contratos inteligentes, é evidenciada como essencial para impulsionar eficácia, resiliência e sustentabilidade na gestão da cadeia de suprimentos. A pesquisa conclui que uma arquitetura baseada em *blockchain* pode efetivamente suportar os desafios da LR, proporcionando rastreabilidade segura e em tempo real de resíduos, transparência nas operações e transações da cadeia de suprimentos, quando integrada com tecnologias emergentes e, assim, contribuir para o processo de planejamento da produção de uma empresa.

A arquitetura *blockchain*, ao garantir a gestão de resíduos e a reciclagem de materiais, destaca-se como um facilitador para o redesenho de processos alinhados aos pilares Ambiental, Social e de Governança (ESG). A pesquisa ressalta que a tecnologia *blockchain* suporta efetivamente os processos de reciclagem ao permitir o acompanhamento do ciclo de vida dos materiais, compartilhamento descentralizado de informações em tempo real e garantindo a segurança por meio de rastreamento, imutabilidade e privacidade. Apesar dos avanços tecnológicos, a pesquisa aponta obstáculos como a falta de conscientização sobre reciclagem, incertezas sobre o sucesso da aplicação da tecnologia, limitações financeiras e técnicas, dificuldades de integração com sistemas existentes e ausência de políticas públicas. Não obstante os avanços tecnológicos alcançados possam facilitar a implementação da *blockchain*, ainda existem obstáculos que precisam ser superados para o sucesso dessas arquiteturas e modelos de negócios baseados na *blockchain*. Alguns desses obstáculos incluem a falta de conscientização sobre a importância da reciclagem, incertezas sobre o sucesso da aplicação dessa tecnologia, limitações de capital e capacidades técnicas das organizações, dificuldade em integrar a *blockchain* com processos e sistemas existentes e ausência de políticas públicas para incentivar práticas sustentáveis por meio de parcerias entre o poder público e as indústrias.

Embora poucos estudos ainda apresentem resultados práticos de aplicações baseadas na *blockchain*, este trabalho abre caminho para pesquisas futuras sobre o assunto. Diante da novidade do tema, identificaram-se poucos estudos que demonstrem resultados concretos com aplicações reais de arquiteturas *blockchain* centradas na manufatura e no planejamento da produção e, portanto, abre caminho para novas agendas sobre os temas abordados. O trabalho limita-se a aplicação da arquitetura *blockchain* a um setor específico do mercado Brasileiro, notadamente ao setor de produção de painéis de madeira reconstituída, podendo ter escalabilidade em outros setores nos quais há produtos com potenciais de reutilização em suas cadeias produtivas originais. Como sugestão, as pesquisas futuras podem investigar oportunidades de modelos de negócios sustentáveis aplicados no processo do planejamento da produção e do planejamento da demanda baseados na tecnologia *blockchain* integrada com outras tecnologias emergentes como, por exemplo, a Inteligência Artificial. Estudos aprofundados usando simulação empírica da tecnologia *blockchain* e de contratos inteligentes com tecnologias relacionadas ao Aprendizado de Máquina e ao Aprendizado Profundo em ecossistemas de transações descentralizadas podem ampliar o quadro proposto para agendas de pesquisa no planejamento da produção no que diz respeito ao planejamento de estoque e à acurácia da previsão da demanda.

REFERÊNCIAS

- Abimóvel. (2022). *Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário*. Dados do setor. Acesso em: 22 de 01 de 2022. <http://abimovel.com/capa/dados-do-setor/>
- Agnusdei, G. P., Coluccia, B., Elia, V., & Miglietta, P. P. (2022). IoT technologies for wine supply chain traceability: Potential application in the Southern Apulia Region (Italy). *Procedia Computer Science*, 200, 1125–1134. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.312>
- Agrawal, T. K., Kumar, V., Pal, R., Wang, L., & Chen, Y. (2021). Blockchain-based framework for supply chain traceability: A case example of textile and clothing industry. *Computers and Industrial Engineering*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107130>
- Ajwani-Ramchandani, R., Figueira, S., Torres de Oliveira, R., Jha, S., Ramchandani, A., & Schuricht, L. (2020). Towards a circular economy for packaging waste by using new technologies: The case of large multinationals in emerging economies. *Journal of Cleaner Production*, 281. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125139>
- Akbari, M., & Hopkins, J. L. (2022). Digital technologies as enablers of supply chain sustainability in an emerging economy. *Operations Management Research*. <https://doi.org/10.1007/s12063-021-00226-8>
- Alexandris, G., Katos, V., Alexaki, S., & Hatzivasilis, G. (2018). Blockchains as Enablers for Auditing Cooperative Circular Economy Networks. *Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*.
- Alves, L., Ferreira Cruz, E., Lopes, S. I., Faria, P. M., & Rosado da Cruz, A. M. (2022). Towards circular economy in the textiles and clothing value chain through blockchain technology and IoT: A review. Em *Waste Management and Research* (Vol. 40, Número 1, p. 3–23). SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.1177/0734242X211052858>
- Anders Brownworth. (2023). *Blockchain Demo*. Anders Brownworth. <https://andersbrownworth.com/blockchain/blockchain>
- Avelar, A. B. A., Silva-Oliveira, K. D. da, & Pereira, R. da S. (2019). VOSViewer_Education for advancing the implementation of the Sustainable Development Goals: A systematic approach. *International Journal of Management Education*, 17(3). <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2019.100322>
- Ávila, P., Lima, D., Moreira, D., Pires, A., & Bastos, J. (2019). Design of a sales and operations planning (S&OP) process – Case study. *Procedia CIRP*, 81, 1382–1387. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.048>

- Bagni, G., & Marçola, J. A. (2019). Evaluation of the maturity of the S&OP process for a written materials company: A case study. *Gestao e Producao*, 26(1). <https://doi.org/10.1590/0104-530X2094-19>
- Bala, M., Boussaid, O., & Alimazighi, Z. (2017). A Fine-Grained Distribution Approach for ETL Processes in Big Data Environments. *Data and Knowledge Engineering*, 111, 114–136. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2017.08.003>
- Bekrar, A., Cadi, A. A. El, Todosijevic, R., & Sarkis, J. (2021). Digitalizing the closing-of-the-loop for supply chains: A transportation and blockchain perspective. *Sustainability - MDPI*, 13(5), 1–25. <https://doi.org/10.3390/su13052895>
- Bhushan, B., Sahoo, C., Sinha, P., & Khamparia, A. (2021). Unification of Blockchain and Internet of Things (BIoT): requirements, working model, challenges and future directions. *Wireless Networks*, 27(1), 55–90. <https://doi.org/10.1007/s11276-020-02445-6>
- Böckel, A., Nuzum, A. K., & Weissbrod, I. (2021). Blockchain for the Circular Economy: Analysis of the Research-Practice Gap. *Sustainable Production and Consumption*, 25, 525–539. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.12.006>
- Böhmecke-Schwafert, M., Wehinger, M., & Robin, |. (2022). Blockchain for the circular economy: Theorizing blockchain's role in the transition to a circular economy through an empirical investigation. *Business Strategy and the Environment*. <https://doi.org/10.1002/bse.3032>
- Boutkhoul, O., Hanine, M., Nabil, M., El Barakaz, F., Lee, E., Rustam, F., & Ashraf, I. (2021). Analysis and Evaluation of Barriers Influencing Blockchain Implementation in Moroccan Sustainable Supply Chain Management: An Integrated IFAHP-DEMATEL Framework. *Mathematics - MDPI*. <https://doi.org/10.3390/math9141601>
- Çetin, S., De Wolf, C., Bocken, N., Bressanelli, G., Adrodegari, F., Cristina Antelmi Pigosso, D., & Prida, V. (2021). Circular Digital Built Environment: An Emerging Framework. *Sustainability - MDPI*. <https://doi.org/10.3390/su13116348>
- Chauhan, C., Parida, V., & Dhir, A. (2022). Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises. *Technological Forecasting and Social Change*, 177. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121508>
- Chidepatil, A., Bindra, P., Kulkarni, D., Qazi, M., Kshirsagar, M., & Sankaran, K. (2020). From Trash to Cash: How Blockchain and Multi-Sensor-Driven Artificial Intelligence Can Transform Circular Economy of Plastic Waste? *Administrative sciences - MDPI*. <https://doi.org/10.3390/admsci10020023>

- Choi, D., Chung, C. Y., Seyha, T., & Young, J. (2020). Factors Affecting Organizations' Resistance to the Adoption of Blockchain Technology in Supply Networks. *Sustainability - MDPI*. <https://doi.org/10.3390/su12218882>
- Clarivate. (2022, junho). *Journal Citation Reports™: Reference Guide*. Clarivate. https://clarivate.com/wp-content/uploads/dlm_uploads/2022/06/JCR-2022-Reference-Guide.pdf
- Clarivate. (2023). *Journal Citation Reports*. Clarivate. <https://clarivate.com/>
- Cole, R., Stevenson, M., & Aitken, J. (2019). Blockchain technology: implications for operations and supply chain management. *Supply Chain Management*, 24(4), 469–483. <https://doi.org/10.1108/SCM-09-2018-0309>
- Dasaklis, T. K., Casino, F., & Patsakis, C. (2020). A traceability and auditing framework for electronic equipment reverse logistics based on blockchain: the case of mobile phones. *Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA)*. <https://doi.org/10.1109/IISA50023.2020.9284394>
- de Oliveira, M. R., de Sousa, T. B., da Silva, C. V., da Silva, F. A., & Costa, P. H. K. (2022). Supply Chain Management 4.0: perspectives and insights from a bibliometric analysis and literature review. *World Review of Intermodal Transportation Research*.
- Demestichas, K., & Daskalakis, E. (2020). Information and Communication Technology Solutions for the Circular Economy. *Sustainability - MDPI*. <https://doi.org/10.3390/su12187272>
- Dietrich, F., Ge, Y., Turgut, A., Louw, L., & Palm, D. (2021). Review and analysis of blockchain projects in supply chain management. *Procedia Computer Science*, 180, 724–733. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.295>
- Drexler, A., & Kimms, A. (1997). EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH Lot sizing and scheduling-Survey and extensions. In *European Journal of Operational Research* (Vol. 99).
- Ebinger, F., & Omondi, B. (2020). Leveraging digital approaches for transparency in sustainable supply chains: A conceptual paper. *Sustainability (Switzerland)*, 12(15). <https://doi.org/10.3390/su12156129>
- Eldrandaly, K. A., El Saber, N., Mohamed, M., & Abdel-Basset, M. (2022). Sustainable Manufacturing Evaluation Based on Enterprise Industry 4.0 Technologies. *Sustainability (Switzerland)*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/su14127376>
- Elhidaoui, S., Benhida, K., El Fezazi, S., Kota, S., & Lamalem, A. (2022). Critical Success Factors of Blockchain adoption in Green Supply Chain Management: Contribution through an

- Interpretive Structural Model. *Production and Manufacturing Research*, 10(1), 1–23. <https://doi.org/10.1080/21693277.2021.1990155>
- Elsevier. (2022, julho 22). *CiteScore metrics - Scopus*. Elsevier. https://service-elsevier-com.ez31.periodicos.capes.gov.br/app/answers/detail/a_id/36048/supporthub/scopus/
- Esmailian, B., Sarkis, J., Lewis, K., & Behdad, S. (2020). Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0. *Resources, Conservation and Recycling*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105064>
- Esper, T. L., Ellinger, A. E., Stank, T. P., Flint, D. J., & Moon, M. (2010). Demand and supply integration: A conceptual framework of value creation through knowledge management. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 38(1), 5–18. <https://doi.org/10.1007/s11747-009-0135-3>
- Garza-Reyes, J. A. (2015). Lean and green-a systematic review of the state of the art literature. *Journal of Cleaner Production*, 102, 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.064>
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910–936. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0057>
- Gong, Y., Wang, Y., Frei, R., Wang, B., & Zhao, C. (2022). Blockchain application in circular marine plastic debris management. *Industrial Marketing Management*, 102, 164–176. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2022.01.010>
- Gong, Y., Xie, S., Arunachalam, D., Duan, J., & Luo, J. (2022a). Blockchain-based recycling and its impact on recycling performance: A network theory perspective. *Business Strategy and the Environment*. <https://doi.org/10.1002/bse.3028>
- Gong, Y., Xie, S., Arunachalam, D., Duan, J., & Luo, J. (2022b). Blockchain-based recycling and its impact on recycling performance: A network theory perspective. *Business Strategy and the Environment*. <https://doi.org/10.1002/bse.3028>
- Govindan, K. (2022). Tunneling the barriers of blockchain technology in remanufacturing for achieving sustainable development goals: A circular manufacturing perspective. *Business Strategy and the Environment*. <https://doi.org/10.1002/bse.3031>
- Grimson, J. A., & Pyke, D. F. (2007). Sales and operations planning: An exploratory study and framework. *The International Journal of Logistics Management*, 18(3), 322–346. <https://doi.org/10.1108/09574090710835093>
- Hartzel, K. S., & Wood, C. A. (2017). Factors that affect the improvement of demand forecast accuracy through point-of-sale reporting. *European Journal of Operational Research*, 260(1), 171–182. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.11.047>

- Hatzivasilis, G., Ioannidis, S., Fysarakis, K., Spanoudakis, G., & Papadakis, N. (2021). The Green Blockchains of Circular Economy. *Electronics - MDPI*. <https://doi.org/10.3390/electronics10162008>
- Hennemann Hilario da Silva, T., & Sehnem, S. (2022). The circular economy and Industry 4.0: synergies and challenges. *Revista de Gestao*, 29(3), 300–313. <https://doi.org/10.1108/REGE-07-2021-0121>
- Hossin, M. A., & Sabuj, S. R. (2019). An IoT-based dynamic traffic management system in perspective of Bangladesh. *Em World Review of Intermodal Transportation Research* (Vol. 8, Número 4).
- Hrouga, M., Sbihi, A., & Chavallard, M. (2022). The potentials of combining Blockchain technology and Internet of Things for digital reverse supply chain: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 337. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130609>
- Ismail, L., Materwala, H., & Hennebelle, A. (2021). A scoping review of integrated blockchain-cloud (Bcc) architecture for healthcare: Applications, challenges and solutions. *Em Sensors* (Vol. 21, Número 11). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s21113753>
- Jaipuria, S., & Mahapatra, S. S. (2014). An improved demand forecasting method to reduce bullwhip effect in supply chains. *Expert Systems with Applications*, 41(5), 2395–2408. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.09.038>
- Jraisat, L., Jreissat, M., Upadhyay, A., & Kumar, A. (2022). Blockchain Technology: The Role of Integrated Reverse Supply Chain Networks in Sustainability. *Supply Chain Forum: An International Journal*. <https://doi.org/10.1080/16258312.2022.2090853>
- Kayikci, Y., Gozacan-Chase, N., Rejeb, A., & Mathiyazhagan, K. (2022). Critical success factors for implementing blockchain-based circular supply chain. *Business Strategy and the Environment*. <https://doi.org/10.1002/bse.3110>
- Kazancoglu, I., Ozbiltekin-Pala, M., Sachin, ., Mangla, K., Kumar, A., Kazancoglu, Y., & Kumar Mangla, S. (2022). Using emerging technologies to improve the sustainability and resilience of supply chains in a fuzzy environment in the context of COVID-19. *Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04775-4>
- Khadke, S., Gupta, P., Rachakunta, S., Mahata, C., Dawn, S., Sharma, M., Verma, D., Pradhan, A., Mounika, A., Krishna, S., Ramakrishna, S., Chakraborty, S., Saianand, G., Biring, S., Kumar Dash, J., & Dalapati, G. K. (2021). Efficient Plastic Recycling and Remolding Circular Economy Using the Technology of Trust-Blockchain. *Sustainability - MDPI*. <https://doi.org/10.3390/su13169142>

- Khan, A. U., Sajid, M. B. E., Rauf, A., Saqib, M. N., Zaman, F., & Javaid, N. (2022). Exploiting Blockchain and RMCV-Based Malicious Node Detection in ETD-LEACH for Wireless Sensor Networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/7281872>
- Khanfar, A. A. A., Iranmanesh, M., Ghobakhloo, M., Senali, M. G., Fathi, M., & Tsai, W.-H. (2021). Applications of Blockchain Technology in Sustainable Manufacturing and Supply Chain Management: A Systematic Review. *Sustainability - MDPI*. <https://doi.org/10.3390/su13147870>
- Kouhizadeh, M., & Sarkis, J. (2018). Blockchain practices, potentials, and perspectives in greening supply chains. *Sustainability - MDPI*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/su10103652>
- Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Zhu, Q. (2019). At the nexus of blockchain technology, the circular economy, and product deletion. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/app9081712>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business and Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Laurence Bardin. (2011). *Análise de conteúdo*.
- Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T. S., Chung, S. H., & Lam, H. Y. (2014). Survey of Green Vehicle Routing Problem: Past and future trends. *Expert Systems with Applications*, 41(4 PART 1), 1118–1138. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.107>
- Liu, P., Hendalianpour, A., Hamzehlou, M., Feylizadeh, R., & Razmi, J. (2021). Identify and Rank the Challenges of Implementing Sustainable Supply Chain Blockchain Technology Using the Bayesian Best Worst Method. *Technological and Economic Development of Economy*. <https://doi.org/10.3846/tede.2021.14421>
- Magrini, C., Nicolas, J., Berg, H., Bellini, A., Paolini, E., Vincenti, N., Campadello, L., Bonoli, A., Bressanelli, G., Adrodegari, F., Cristina, D., Pigosso, A., & Prida, V. (2021). Using Internet of Things and Distributed Ledger Technology for Digital Circular Economy Enablement: The Case of Electronic Equipment. *Sustainability - MDPI*. <https://doi.org/10.3390/su13094982>
- Mascarenhas, C., Ferreira, J. J., & Marques, C. (2018). University-industry cooperation: A systematic literature review and research agenda. *Science and Public Policy*, 45(5), 708–718. <https://doi.org/10.1093/SCIPOL/SCY003>
- Munir, M. A., Habib, M. S., Hussain, A., Shahbaz, M. A., Qamar, A., Masood, T., Sultan, M., Mujtaba, M. A., Imran, S., Hasan, M., Akhtar, M. S., Uzair Ayub, H. M., & Salman, C. A. (2022). Blockchain Adoption for Sustainable Supply Chain Management: Economic,

- Environmental, and Social Perspectives. *Frontiers in Energy Research*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.899632>
- Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. www.bitcoin.org
- Nandi, S., Sarkis, J., Hervani, A. A., & Helms, M. M. (2020). Redesigning Supply Chains using Blockchain-Enabled Circular Economy and COVID-19 Experiences. *Em Sustainable Production and Consumption* (Vol. 27, p. 10–22). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.019>
- Nowakowski, P., Król, A., & Mrówczyńska, B. (2017). Supporting mobile WEEE collection on demand: A method for multi-criteria vehicle routing, loading and cost optimisation. *Waste Management*, 69, 377–392. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.045>
- Olhager, J. (2013). Evolution of operations planning and control: From production to supply chains. *International Journal of Production Research*, 51(23–24), 6836–6843. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.761363>
- Oropallo, E., Secundo, G., Vecchio, P. Del, Centobelli, P., & Cerchione, R. (2021). Blockchain technology for bridging trust, traceability and transparency in circular supply chain. *Information and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.im.2021.103508>
- Pahlevan-Sharif, S., Mura, P., & Wijesinghe, S. N. R. (2019). A systematic review of systematic reviews in tourism. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 39, 158–165. <https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2019.04.001>
- Raj Kumar Reddy, K., Gunasekaran, A., Kalpana, P., Raja Sreedharan, V., & Arvind Kumar, S. (2021). Developing a blockchain framework for the automotive supply chain: A systematic review. *Computers and Industrial Engineering*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107334>
- Rejeb, A., Rejeb, K., Keogh, J. G., & Zailani, S. (2022). Barriers to Blockchain Adoption in the Circular Economy: A Fuzzy Delphi and Best-Worst Approach. *Sustainability - MDPI*. <https://doi.org/10.3390/su14063611>
- Rusch, M., Schöggel, J.-P., & Baumgartner, R. J. (2022). Application of digital technologies for sustainable product management in a circular economy: A review. *Business Strategy and the Environment*. <https://doi.org/10.1002/bse.3099>
- Sahoo, S., Mukherjee, A., & Halder, R. (2021). A unified blockchain-based platform for global e-waste management. *International Journal of Web Information Systems*, 17(5), 449–479. <https://doi.org/10.1108/IJWIS-03-2021-0024>
- Sahoo, S., Satish Kumar, ., Sivarajah, U., Weng, ., Lim, M., Westland, . J Christopher, & Kumar, A. (2022). Blockchain for sustainable supply chain management: trends and ways forward. *Electronic Commerce Research*. <https://doi.org/10.1007/s10660-022-09569-1>

- Salviati, M. E. (2017). *Manual do Aplicativo Iramuteq*. <http://www.iramuteq.org/documentation/fichiers/manual-do-aplicativo-iramuteq-par-maria-elisabeth-salviati>
- Shaikh, Z. A., Khan, A. A., Baitenova, L., Zambinova, G., Yegina, N., Ivolgina, N., Laghari, A. A., & Barykin, S. E. (2022). A Blockchain Hyperledger and Non-Linear Machine Learning: A Novel and Secure Educational Accreditation Registration and Distributed Ledger Preservation Architecture. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/app12052534>
- Shih, D. H., Huang, F. C., Chieh, C. Y., Shih, M. H., & Wu, T. W. (2021). Preventing return fraud in reverse logistics—A case study of espres solution by ethereum. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 16(6), 2170–2191. <https://doi.org/10.3390/jtaer16060121>
- Shih, D.-H., Huang, F.-C., Chieh, C.-Y., Shih, M.-H., Wu, T.-W., Ho, D. C., & Leung Yip, T. (2021). Preventing Return Fraud in Reverse Logistics-A Case Study of ESPRES Solution by Ethereum. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*. <https://doi.org/10.3390/jtaer16060121>
- Shojaei, A., Ketabi, R., Razkenari, M., Hakim, H., & Wang, J. (2021). Enabling a circular economy in the built environment sector through blockchain technology. *Journal of Cleaner Production*, 294. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126352>
- Soldatos, J., Kefalakis, N., Despotopoulou, A. M., Bodin, U., Musumeci, A., Scandura, A., Aliprandi, C., Arabsolgar, D., & Colledani, M. (2020). A digital platform for cross-sector collaborative value networks in the circular economy. *Procedia Manufacturing*, 54, 64–69. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.07.011>
- Steenmans, K., Taylor, P., & Steenmans, I. (2021). Regulatory Opportunities and Challenges for Blockchain Adoption for Circular Economies. *Proceedings - MDPI*, 572–577. <https://doi.org/10.1109/Blockchain53845.2021.00086>
- Steinhardt, I., Schneijderberg, C., Götze, N., Baumann, J., & Krücken, G. (2017). Mapping the quality assurance of teaching and learning in higher education: the emergence of a specialty? *Higher Education*, 74(2), 221–237. <https://doi.org/10.1007/s10734-016-0045-5>
- Su, Z., Zhang, M., & Wu, W. (2021). Visualizing Sustainable Supply Chain Management: A Systematic Scientometric Review. *Sustainability - MDPI*. <https://doi.org/10.3390/su13084409>
- Sunmola, F. T., Burgess, P., & Tan, A. (2021). Building blocks for blockchain adoption in digital transformation of sustainable supply chains. *Procedia Manufacturing*, 55(C), 513–520. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.10.070>

- Tan, B. Q., Wang, F., Liu, J., Kang, K., & Costa, F. (2020). A blockchain-based framework for green logistics in supply chains. *Sustainability (Switzerland)*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/su12114656>
- Tijan, E., Aksentijević, S., Ivanić, K., & Jardas, M. (2019). Blockchain technology implementation in logistics. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Número 4). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su11041185>
- Tracey, M., Lim, J. S., & Vonderembse, M. A. (2005). The impact of supply-chain management capabilities on business performance. *Supply Chain Management*, 10(3), 179–191. <https://doi.org/10.1108/13598540510606232>
- Tran, T. H., Pham, H. L., Phan, T. D., & Nakashima, Y. (2021). BCA: A 530-mW Multicore Blockchain Accelerator for Power-Constrained Devices in Securing Decentralized Networks. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 68(10), 4245–4258. <https://doi.org/10.1109/TCSI.2021.3102618>
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). *Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review* *.
- United Nations. (2004). *Report Who Cares Wins - Financial Sector Initiative - UN*. United Nations. https://www.unepfi.org/fileadmin/events/2004/stocks/who_cares_wins_global_compact_2004.pdf
- Varriale, V., Cammarano, A., Michelino, F., & Caputo, M. (2020). The unknown potential of blockchain for sustainable supply chains. *Sustainability (Switzerland)*, 12(22), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su12229400>
- Varriale, V., Cammarano, A., Michelino, F., & Caputo, M. (2021). Sustainable supply chains with blockchain, IoT and RFID: A simulation on order management. *Sustainability (Switzerland)*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/su13116372>
- Voorter, J., & Koolen, C. (2021). The Traceability of Construction and Demolition Waste in Flanders via Blockchain Technology: A Match Made in Heaven? *Journal for European Environmental and Planning Law*, 18(4), 347–369. <https://doi.org/10.1163/18760104-18040003>
- Wang, B., Luo, W., Zhang, A., Tian, Z., & Li, Z. (2020). Blockchain-enabled circular supply chain management: A system architecture for fast fashion. *Computers in Industry*, 123. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103324>

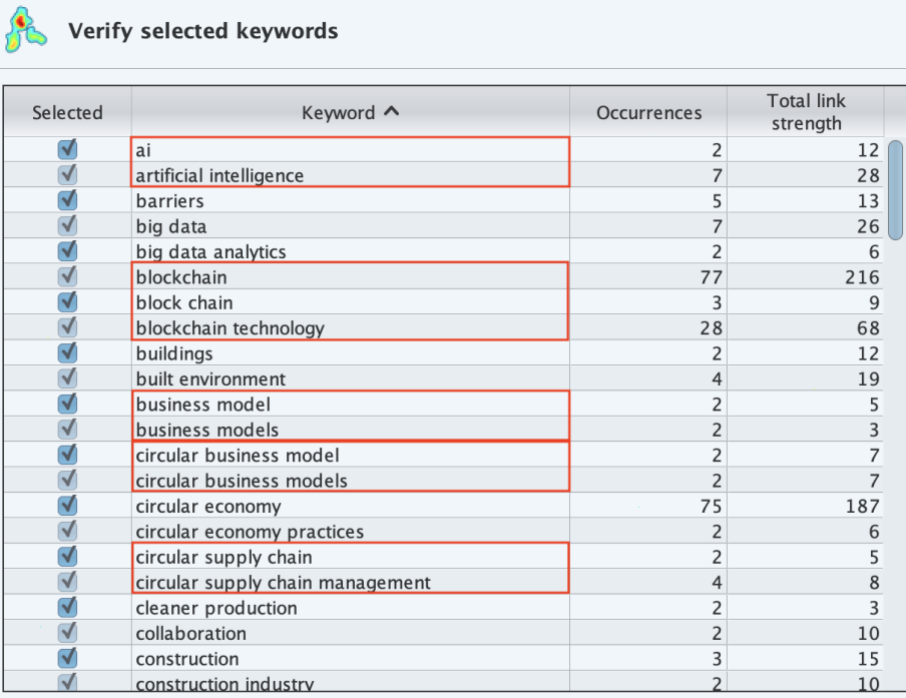
- Wang, X. ;, Ma, D. ;, Hu, J., Wang, X., Ma, D., & Hu, J. (2022). Recycling Model Selection for Electronic Products Considering Platform Power and Blockchain Empowerment. *Sustainability - MDPI*. <https://doi.org/10.3390/su14106136>
- Wohlin, C. (2014). Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. *ACM International Conference Proceeding Series*. <https://doi.org/10.1145/2601248.2601268>
- Wu, C. H., Tsang, Y. P., Lee, C. K. M., & Ching, W. K. (2021). A blockchain-iot platform for the smart pallet pooling management. *Sensors*, 21(18). <https://doi.org/10.3390/s21186310>
- Yang, Z., Yang, K., Lei, L., Zheng, K., & Leung, V. C. M. (2019). Blockchain-based decentralized trust management in vehicular networks. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(2), 1495–1505. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2836144>
- Yu, Z., Umar, M., & Rehman, S. A. (2022). Adoption of technological innovation and recycling practices in automobile sector: under the Covid-19 pandemic. *Operations Management Research*. <https://doi.org/10.1007/s12063-022-00263-x>
- Zhang, A., Zhong, R. Y., Farooque, M., Kang, K., & Venkatesh, V. G. (2019). Blockchain-based life cycle assessment: An implementation framework and system architecture. *Resources, Conservation and Recycling*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104512>

APÊNDICE A – REFINAMENTO DA EXPRESSÃO DE BUSCA

O refinamento e obtenção da expressão de busca final contemplou a busca por novas variantes relacionadas às variantes inicialmente definidas de acordo com os temas deste trabalho explanados na questão de pesquisa da RSL: “*blockchain*” e “Gerenciamento Sustentável da Cadeia de Suprimentos”.

O processo ETL, por sua vez, compreendeu a fase de integração de dados que suporta um protocolo de análise de tomada de decisão, de acordo com Bala et al. (2017). Para este estudo, o processo ETL foi aplicado da seguinte forma: (i) *Extract*: descarregamento dos dados para criação da base de dados, (ii) *Transform*: análise, agrupamento e formatação das palavras-chave similares e escritas de forma diferente e, (iii) *Load*: carregamento das bases de dados *Scopus* e *WoS* formatadas. Nota-se pela Figura 17, segundo análise do VOSviewer, que as palavras-chave “*artificial intelligence*”, “*blockchain*”, “*circular business model*”, entre outras, foram grafadas de diversas formas em ambas as bases extraídas do *Scopus* e do *WoS*, demonstrando que não há um padrão de escrita de mesma palavras-chave pelos autores. Estas discrepâncias exigiram a aplicação do processo ETL (do inglês, *Extract, Transform and Load*) para a unificação das palavras-chaves similares.

Figura 17 – Palavras-chave semelhantes identificadas pelo VOSviewer (versão 1.6.18)



Selected	Keyword ^	Occurrences	Total link strength
☒	ai	2	12
☒	artificial intelligence	7	28
☒	barriers	5	13
☒	big data	7	26
☒	big data analytics	2	6
☒	blockchain	77	216
☒	block chain	3	9
☒	blockchain technology	28	68
☒	buildings	2	12
☒	built environment	4	19
☒	business model	2	5
☒	business models	2	3
☒	circular business model	2	7
☒	circular business models	2	7
☒	circular economy	75	187
☒	circular economy practices	2	6
☒	circular supply chain	2	5
☒	circular supply chain management	4	8
☒	cleaner production	2	3
☒	collaboration	2	10
☒	construction	3	15
☒	construction industry	2	10

< Back Next > Finish Cancel

Fonte: Imagem gerada pelo software VOSviewer, versão 1.6.18.

Desta forma, foram realizados três testes em cada uma das bases elencadas, *Scopus* e *Web of Science* que tinham por objetivo identificar novas variantes de acordo com a coocorrências de palavras-chave de autores nos mapas bibliométricos gerados por meio do *software* VOSviewer (versão 1.6.18) e, inclui-las na expressão de busca de cada novo teste, conforme apresentados nas tabelas e figuras seguintes.

1 BASE SCOPUS

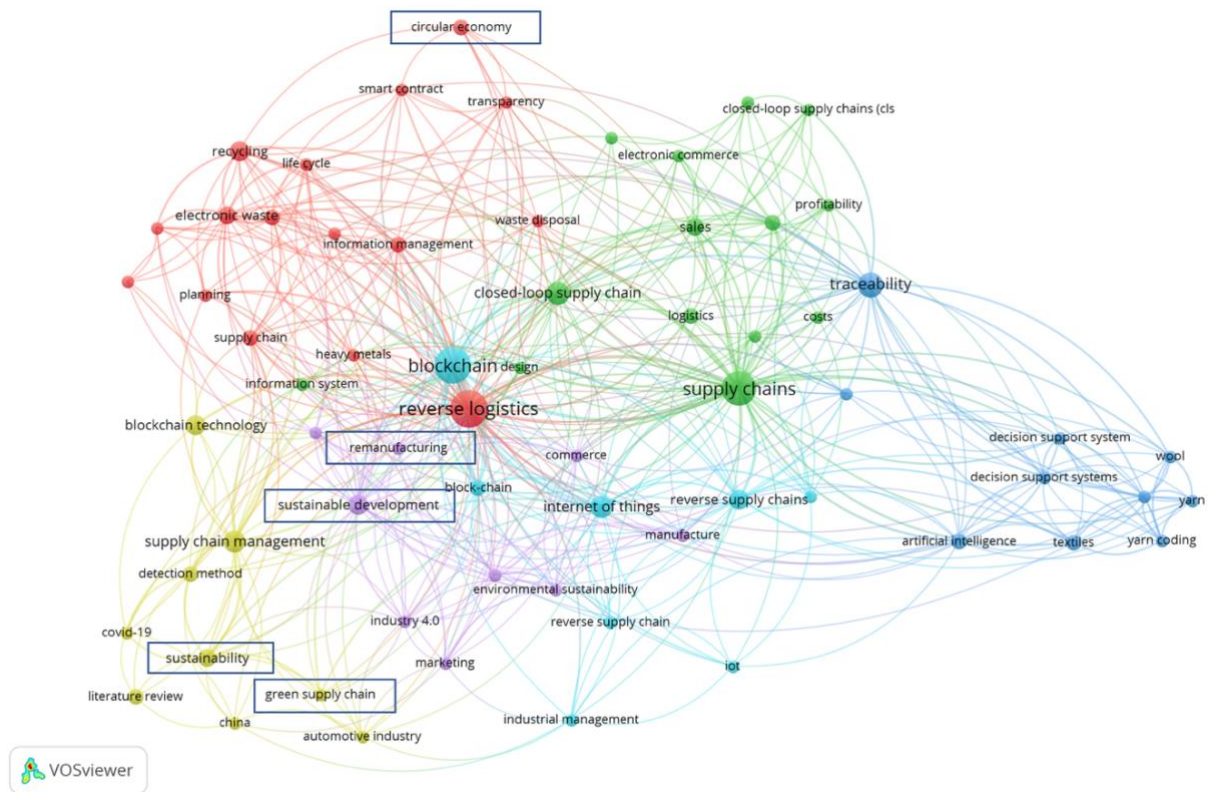
1.1 1º teste na base de dados Scopus

Tabela 4 – 1º teste na base de dados Scopus

Descritores	Booleans	Filtros	Resultado (artigos)
blockchain OR traceability	AND	NA	49
"reverse logistics" OR "reverse supply chain*" OR "closed-loop* supply chain"			
Novas variantes identificadas:	• circular economy • remanufacturing • sustainable development • sustainability • green supply chain		

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 18 – Variantes identificadas no mapa bibliométrico do 1º teste na base Scopus



Fonte: Imagem gerada pelo software VOSviewer, versão 1.6.18.

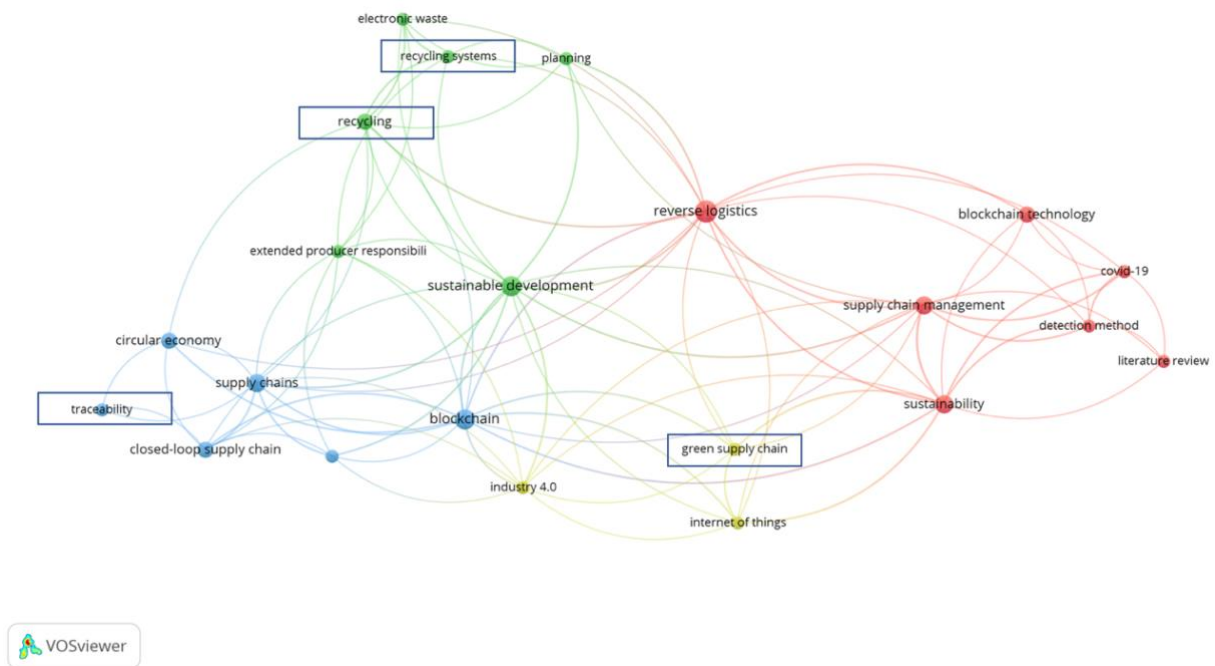
1.2 2º teste na base de dados Scopus

Tabela 5 – 2º teste na base de dados Scopus

Descritores	Booleans	Filtros	Resultado (artigos)
blockchain	AND	All Open Access	651
"reverse logistics" OR "reverse supply chain*" OR "circular economy" OR "closed-loop* supply chain" OR sustainab*			
Novas variantes identificadas por meio do mapa bibliométrico gerado pelo VOSviewer:	- recycling systems - recycling - traceability - green supply chain		

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 19 – Variantes identificadas no mapa bibliométrico do 2º teste na base Scopus



Fonte: Imagem gerada pelo software VOSviewer, versão 1.6.18.

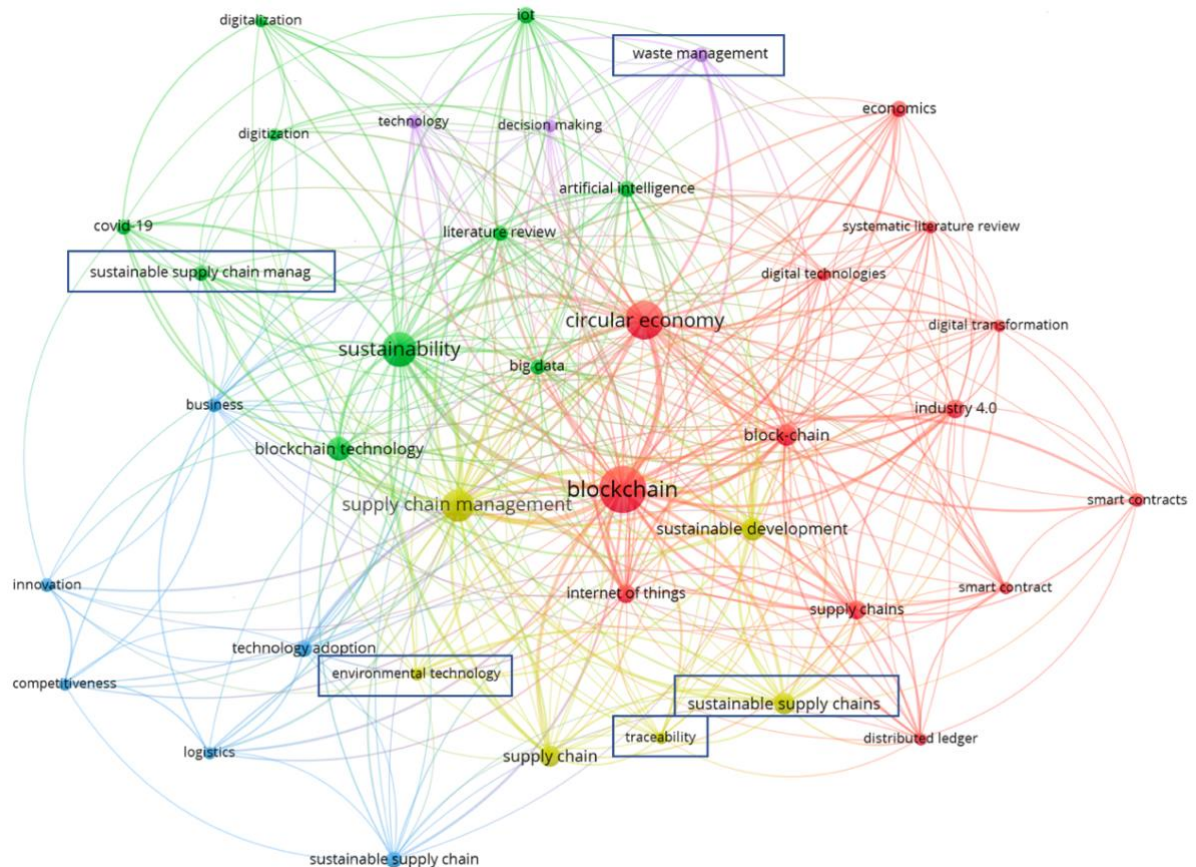
1.3 3º teste na base de dados Scopus

Tabela 6 – 3º teste na base de dados Scopus

Descritores	Booleans	Filtros	Resultado (artigos)
blockchain	AND	NA	119
"reverse logistics" OR "reverse supply chain*" OR "closed-loop* supply chain" OR "circular economy" OR sustainab*			
Novas variantes identificadas por meio do mapa bibliométrico gerado pelo VOSviewer:	- waste management - sustainable supply chain manag - environmental technology - sustainable supply chains - traceability		

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 20 – Variantes identificadas no mapa bibliométrico do 3º teste na base Scopus



Fonte: Imagem gerada pelo software VOSviewer, versão 1.6.18.

2 BASE WEB OF SCIENCE

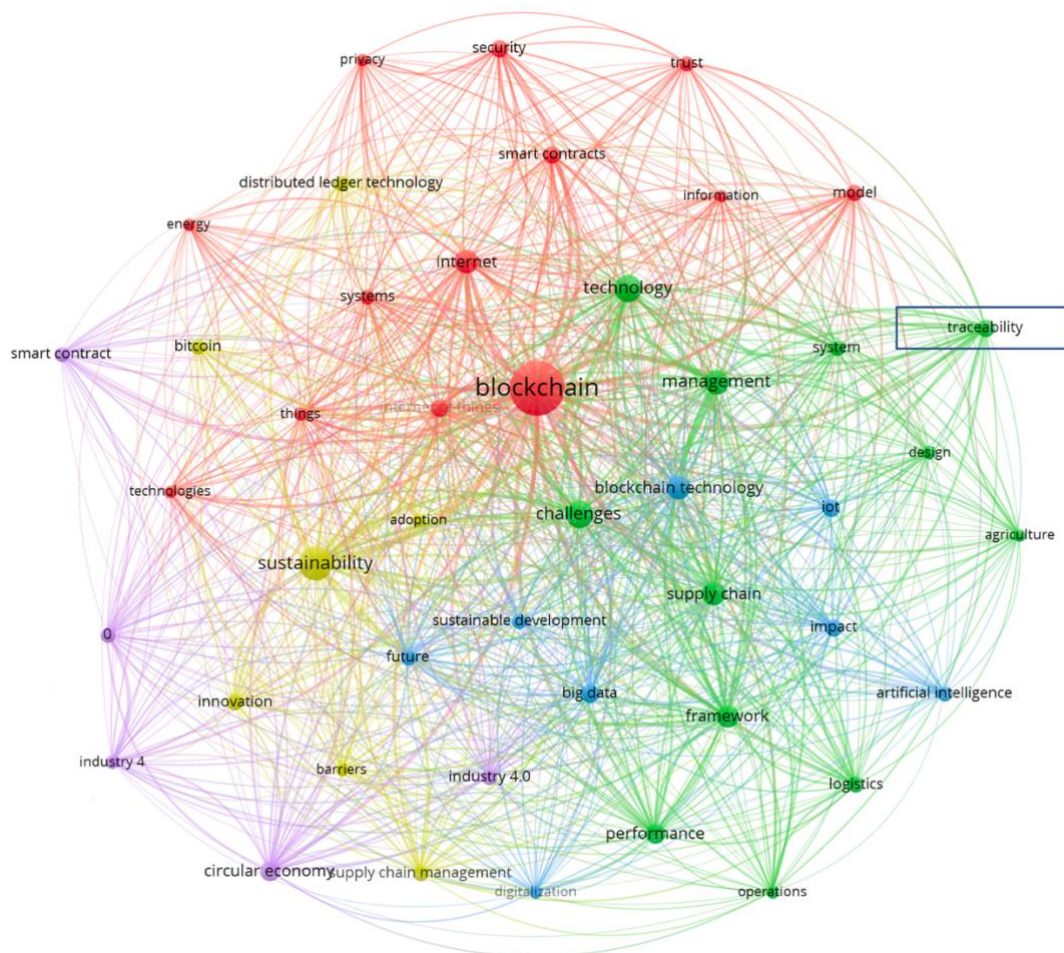
2.1 1º teste na base de dados Web of Science

Tabela 7 – 1º teste na base de dados *Web of Science*

Descritores	Booleans	Filtros	Resultado (artigos)
blockchain OR traceability	AND	NA	43
"reverse logistics" OR "reverse supply chain*" OR "closed-loop* supply chain"			
Novas variantes identificadas:			
	• green • sustainability		

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 22 – Variantes identificadas no mapa bibliométrico do 2º teste na base WoS



Fonte: Imagem gerada pelo software VOSviewer, versão 1.6.18.

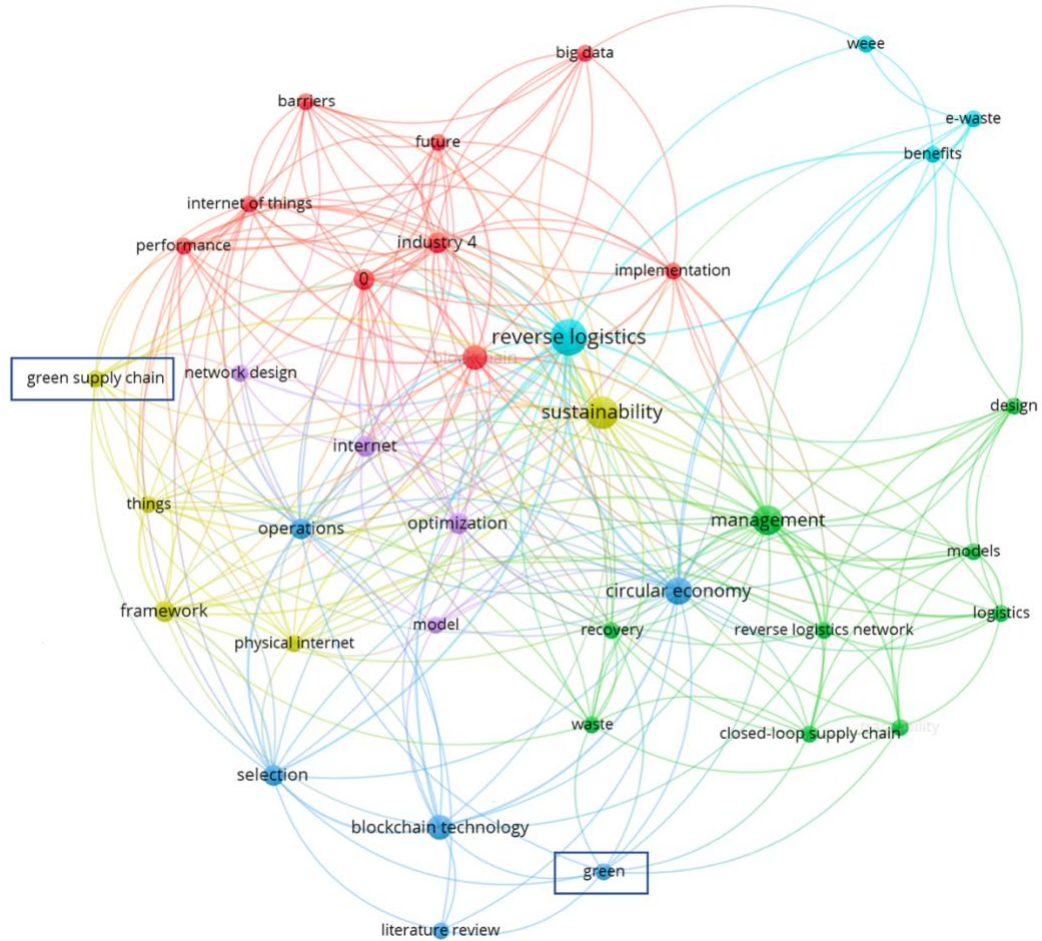
2.3 3º teste na base de dados Web of Science

Tabela 9 – 3º teste na base de dados *Web of Science*

Descritores	Booleans	Filtros	Resultado (artigos)
blockchain	AND	NA	129
"reverse logistics" OR "reverse supply chain*" OR "closed-loop* supply chain" OR "circular economy" OR sustainab*			
Novas variantes identificadas por meio do mapa bibliométrico gerado pelo VOSviewer:			

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 23 – Variantes identificadas no mapa bibliométrico do 3º teste na base WoS



Fonte: Imagem gerada pelo software VOSviewer, versão 1.6.18.

APÊNDICE B – CLASSIFICAÇÃO DOS PERIÓDICOS SELECIONADOS

Uma distinção importante entre esses indicadores está relacionada ao tipo de publicação do período considerado no cálculo do indicador em que o indicador JCI considera apenas artigos e resenhas em seu cálculo, o CS reconhece todas as publicações sem exceção (Clarivate, 2023; Elsevier, 2022). Quanto maior for o CS do artigo, melhor será a classificação do periódico (Clarivate, 2022). Assim, a Tabela 10 apresenta os 45 artigos selecionados pela RSL e as métricas JCI e CS dos periódicos. Estes indicadores demonstram o potencial impacto dos temas abordados neste estudo na literatura científica.

Tabela 10 – Métricas JCI e CS dos artigos e periódicos elegíveis

#	Ano	Título	Autores	Journal	JCI (2021)	CS (2021)
1	2018	Blockchains as Enablers for Auditing Cooperative Circular Economy Networks	Alexandris et al. (2018)	Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks	NA	NA
2	2018	Blockchain practices, potentials, and perspectives in greening supply chains	Kouhizadeh e Sarkis (2018)	Sustainability	0,6	5,0
3	2019	Blockchain technology: implications for operations and supply chain management	Cole et al. (2019)	Supply Chain Management: An International Journal	1,9	13,4
4	2019	Blockchain Technology Implementation in Logistics	Tijan et al. (2019)	Sustainability	0,6	5,0
5	2019	Blockchain-based life cycle assessment: An implementation framework and system architecture	Zhang et al. (2019)	Resources, Conservation & Recycling	1,6	17,9
6	2020	Towards a circular economy for packaging waste by using new technologies: The case of large multinationals in emerging economies	Ajwani-Ramchandani et al. (2020)	Journal of Cleaner Production	1,5	15,8

7	2020	From Trash to Cash: How Blockchain and Multi-Sensor-Driven Artificial Intelligence Can Transform Circular Economy of Plastic Waste?	Chidepatil et al. (2020)	Administrative sciences	0,6	3,4
8	2020	Factors Affecting Organizations' Resistance to the Adoption of Blockchain Technology in Supply Networks	Choi et al. (2020)	Sustainability	0,6	5,0
9	2020	Information and Communication Technology Solutions for the Circular Economy	Demestichas & Daskalakis (2020)	Sustainability	0,6	5,0
10	2020	Redesigning Supply Chains using Blockchain-Enabled Circular Economy and COVID-19 Experiences	Nandi et al. (2020)	Sustainable Production and Consumption	1,4	8,1
11	2020	A digital platform for cross-sector collaborative value networks in the circular economy	Soldatos et al. (2020)	Procedia Manufacturing	NA	NA
12	2020	A Blockchain-Based Framework for Green Logistics in Supply Chains	Tan et al. (2020)	Sustainability	0,6	5,0
13	2020	Blockchain-enabled circular supply chain management: A system architecture for fast fashion	Wang et al. (2020)	Computers in Industry	1,8	16,9
14	2021	Digitalizing the closing-of-the-loop for supply chains: A transportation and blockchain perspective	Bekrar et al. (2021)	Sustainability	0,6	5,0
15	2021	Blockchain for the Circular Economy: Analysis of the Research-Practice Gap	Böckel et al. (2021)	Sustainable Production and Consumption	1,4	8,1
16	2021	Analysis and Evaluation of Barriers Influencing Blockchain Implementation in Moroccan Sustainable Supply Chain	Boutkhoul et al. (2021)	Mathematics	2,2	2,9

Management: An Integrated IFAHP-DEMATEL Framework						
17	2021	Blockchain adoption in the fashion sustainable supply chain: Pragmatically addressing barriers	Caldarelli et al. (2021)	Journal of Organizational Change Management	0,5	3,4
18	2021	Circular Digital Built Environment: An Emerging Framework	Çetin et al. (2021)	Sustainability	0,6	5,0
19	2021	The Green Blockchains of Circular Economy	Hatzivasilis et al. (2021)	Electronics	0,6	3,7
20	2021	Efficient Plastic Recycling and Remolding Circular Economy Using the Technology of Trust-Blockchain	Khadke et al. (2021)	Sustainability	0,6	5,0
21	2021	Applications of Blockchain Technology in Sustainable Manufacturing and Supply Chain Management: A Systematic Review	Khanfar et al. (2021)	Sustainability	0,6	5,0
22	2021	Identify and Rank the Challenges of Implementing Sustainable Supply Chain Blockchain Technology Using the Bayesian Best Worst Method	Liu et al. (2021)	Technological and Economic Development of Economy	1,8	8,0
23	2021	Using Internet of Things and Distributed Ledger Technology for Digital Circular Economy Enablement: The Case of Electronic Equipment	Magrini et al. (2021)	Sustainability	0,6	5,0
24	2021	Modeling the blockchain readiness challenges for product recovery system	Mathivathanan et al. (2021)	Operations Research	0,7	6,1
25	2021	Blockchain technology for bridging trust, traceability and transparency in circular supply chain	Oropallo et al. (2021)	Information and Management	2,5	13,1

26	2021	A unified blockchain-based platform for global e-waste management	Sahoo et al. (2021)	Electronic Commerce Research	0,2	1,9
27	2021	Preventing Return Fraud in Reverse Logistics-A Case Study of ESPRES Solution by Ethereum	Shih et al. (2021)	Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research	0,9	3,1
28	2021	Enabling a circular economy in the built environment sector through blockchain technology	Shojaei et al. (2021)	Journal of Cleaner Production	1,5	15,8
29	2021	Regulatory Opportunities and Challenges for Blockchain Adoption for Circular Economies	Steenmans et al. (2021)	Proceedings of the IEEE	3,6	NA
30	2021	Visualizing Sustainable Supply Chain Management: A Systematic Scientometric Review	Su et al. (2021)	Sustainability	0,6	5,0
31	2021	Building Blocks for Blockchain Adoption in Digital Transformation of Sustainable Supply Chains	Sunmola et al. (2021)	Procedia Manufacturing	NA	NA
32	2021	Sustainable Supply Chains with Blockchain, IoT and RFID: A Simulation on Order Management	Varriale et al. (2021)	Sustainability	0,6	5,0
33	2021	The Traceability of Construction and Demolition Waste in Flanders via Blockchain Technology: A Match Made in Heaven?	Voortere Koolen (2021)	Journal for European Environmental and Planning Law	1,1	1,4
34	2022	IoT technologies for wine supply chain traceability: Potential application in the Southern Apulia Region (Italy)	Agnusdei et al. (2022)	Procedia Computer Science	NA	3,6
35	2022	Blockchain adoption barriers in Moroccan sustainable supply chain: a proposed approach	Bendarag et al., (2022)	Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science	NA	2,4

36	2022	Blockchain for the circular economy: Theorizing blockchain's role in the transition to a circular economy through an empirical investigation	Böhmecke-Schwafert et al. (2022)	Business Strategy and the Environment	2,2	11,9
37	2022	Critical Success Factors of Blockchain adoption in Green Supply Chain Management: Contribution through an Interpretive Structural Model	Elhidaoui et al., (2022)	Production and Manufacturing Research	0,6	6,9
38	2022	Tunneling the barriers of blockchain technology in remanufacturing for achieving sustainable development goals: A circular manufacturing perspective	Govindan (2022)	Business Strategy and the Environment	2,2	11,9
39	2022	Blockchain application in circular marine plastic debris management	Gong et al. (2022)	Industrial Marketing Management	2,2	11,9
40	2022	The potentials of combining Blockchain technology and Internet of Things for digital reverse supply chain: A case study	Hrouga et al. (2022)	Journal of Cleaner Production	1,5	15,8
41	2022	Blockchain Technology: The Role of Integrated Reverse Supply Chain Networks in Sustainability	Jraisat et al. (2022)	Supply Chain Forum	0,6	6,9
42	2022	Critical success factors for implementing blockchain-based circular supply chain	Kayikci et al. (2022)	Business Strategy and the Environment	2,2	11,9
43	2022	Barriers to Blockchain Adoption in the Circular Economy: A Fuzzy Delphi and Best-Worst Approach	Rejeb et al. (2022)	Sustainability	0,6	5,0
44	2022	Recycling Model Selection for Electronic Products Considering Platform Power and Blockchain Empowerment	Wang et al. (2022)	Sustainability	0,6	5,0

45	2022	Adoption of technological innovation and recycling practices in automobile sector: under the Covid-19 pandemic	Yu et al. (2022)	Operations Management Research	1,3	2,8
----	------	--	------------------	--------------------------------------	-----	-----

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE C – CORPUS TEXTUAL IRAMUTEQ

Segundo o Manual do IRaMuTeQ, o corpus textual deve obedecer às seguintes regras, a saber: (i) eliminar sinais proibidos: aspas, apóstrofo, cifrão, porcentagem, asterisco e reticências, travessão, negrito, itálico, grifo e outros sinais similares, recuo de parágrafo, margens ou tabulações do texto; (ii) deve haver apenas as pontuações permitidas: ponto, dois pontos, vírgula, interrogação e exclamação; (iii) formatação de texto deve ser todo corrido, sem mudança de linha; (iv) palavras compostas devem ser unidas por sinal *underline*, mesmo aquelas unidas ortograficamente pelo hífen, trazendo mais relevância ao conjunto de palavras compostas durante as análises do IRaMuTeQ (Salviati, 2017).

**** *ABSTRACT_1 *ANO_2019 *Tijan et al.

This paper researches decentralized data storage represented by blockchain technology and the possibility of its development in sustainable logistics and supply chain management. Although the benefits of blockchain technology have been most widely researched in the financial sector, major challenges in logistics, such as order delay, damage to goods, errors, and multiple data entry can also be minimized by introducing blockchain technology. This paper presents a comprehensive review of the current and rising trends of blockchain technology usage in logistics and supply_chain_management.

**** *ABSTRACT_1 *ANO_2018 *AUTOR_Alexandris_et_al

Implementing a circular_economy business model which is profitable for businesses operating physical assets, while at the same time does not conflict with strategic goals of environmental policies can be a complex and risky undertaking for a single entity, especially if the asset operator is a small_to_medium enterprise SMEs. To mitigate this, a collaborative circular_economy business model is proposed, where the circular_economy cycle is materialized by assets transitioning between asset operators on a demand-driven approach. Demand itself is partially based on the asset's state, which is described by its circular properties location, condition, availability. The asset state and its transition between operators can be monitored by auditors and governmental regulators to ensure asset integrity and compliance with environmental targets. This common view of asset state between all parties can be enabled by blockchains and smart_contracts, which can provide the underlying technology to share data with integrity, while simultaneously offering more efficient interoperability between

participants. To demonstrate how this could be achieved, a conceptual asset record access and sharing mechanism is presented which is suitable for regulated environmental jurisdictions.

**** *ABSTRACT_2 *ANO_2018 *AUTOR_Kouhizadeh_e_Sarkis

blockchain technology is an inchoate technology whose current popularity is peaking. Some of the most pervasive blockchain technology use cases exist for supply_chains. Sustainable, and especially green, supply_chains can benefit from blockchain technology, but there are also caveats. The sustainability and environmental management research and academic literature is only starting to investigate this emergent field. This paper seeks to help advance the discussion and motivate additional practice and research related to green_supply_chains and blockchain technology. This viewpoint paper provides insight into some of the main dimensions of blockchain technology, an overview of the use cases and issues, and some general research areas for further investigation.

**** *ABSTRACT_3 *ANO_2019 *AUTOR_Cole_et_al

Purpose: This paper aims to encourage the study of blockchain technology from an operations and supply_chain_management OSCM perspective, identifying potential areas of application, and to provide an agenda for future research. Design_methodology_approach: An explanation and analysis of blockchain technology is provided to identify implications for the field of OSCM.

Findings: The hype around the opportunities that digital ledger technologies offer is high. For OSCM, a myriad of ways in which blockchain could transform practice are identified, including enhancing product safety and security; improving quality management; reducing illegal counterfeiting; improving sustainable_supply_chain_management; advancing inventory management and replenishment; reducing the need for intermediaries; impacting new product design and development; and reducing the cost of supply_chain_transactions. The immature state of practice and research surrounding blockchain means there is an opportunity for OSCM researchers to study the technology in its early stages and shape its adoption.

Research_limitations_implications: The paper provides a platform for new research that addresses gaps in knowledge and advances the field of OSCM. A research agenda is developed around six key themes. Practical implications There are many opportunities for organisations to obtain an advantage by making use of blockchain technology ahead of the competition, enabling them to enhance their market position. But it is important that managers examine the

characteristics of their products, services and supply chains to determine whether they need or would benefit sufficiently from the adoption of blockchain. Moreover, it is important that organisations build human capital expertise that allows them to develop, implement and exploit applications of this technology to maximum reward.

Originality_value: This is one of the first papers in a leading international OSCM journal to analyse blockchain technology, thereby complementing a recent article on digital supply chains that omitted blockchain.

**** *ABSTRACT_4 *ANO_2019 *AUTOR_Tijan_et_al

This paper researches decentralized data storage represented by blockchain technology and the possibility of its development in sustainable_logistics and supply_chain_management. Although the benefits of blockchain technology have been most widely researched in the financial sector, major challenges in logistics, such as order delay, damage to goods, errors, and multiple data entry can also be minimized by introducing blockchain technology. This paper presents a comprehensive review of the current and rising trends of blockchain technology usage in logistics and supply chain management.

**** *ABSTRACT_5 *ANO_2019 *AUTOR_Zhang_et_al

Life_cycle_assessment LCA is widely used for assessing the environmental impacts of a product or service. Collecting reliable data is a major challenge in LCA due to the complexities involved in the tracking and quantifying inputs and outputs at multiple supply chain stages. blockchain technology offers an ideal solution to overcome the challenge in sustainable supply chain management. Its use in combination with internet_of_things IoT and big_data analytics and visualization can help organizations achieve operational excellence in conducting LCA for improving supply chain sustainability. This research develops a framework to guide the implementation of blockchain_based_LCA. It proposes a system architecture that integrates the use of blockchain, IoT, and big_data analytics and visualization. The proposed implementation framework and system architecture were validated by practitioners who were experienced with blockchain_applications. The research also analyzes system implementation costs and discusses potential issues and solutions, as well as managerial and policy implications.

**** *ABSTRACT_6 *ANO_2020 *AUTOR_Ajwani-Ramchandani_et_al

Earth's capacity to sustain mankind is reaching a tipping point. Packaging waste is one of the critical problems that is leading to such a situation and a focus of the UN

Sustainable_Development_Goals. However, large multinational enterprises look at their products and its packaging in a separate way, which leads them to think that when the product is consumed, their responsibility ends, leaving the government to deal with the issue of managing the packaging waste. Due to the complexity of the issue and the fact that this is particularly problematic in emerging markets, we used an in-depth and longitudinal case study analysis. We found that there were a desire and ability, with the use of the right technology, among urban groups to tackle the problem if with the right incentives to the different involved actors and from a holistic perspective. Our findings allowed us to advance a holistic framework based on incentives by using digitalization and new technologies such as blockchain and artificial_intelligence. Doing so, we advance the theory in the circular economy by enhancing it with the use of new technologies and advance a resources value loop that adds to the product_life_cycle theory.

**** *ABSTRACT_7 *ANO_2020 *AUTOR_Chidepatil_et_al

Virgin polymers based on petrochemical feedstock are mainly preferred by most plastic goods manufacturers instead of recycled plastic feedstock. Major reason for this is the lack of reliable information about the quality, suitability, and availability of recycled plastics, which is partly due to lack of proper segregation techniques. In this paper, we present our ongoing efforts to segregate plastics based on its types and improve the reliability of information about recycled plastics using the first_of_its_kind blockchain smart_contracts powered by multi_sensor data_fusion algorithms using artificial_intelligence. We have demonstrated how different data-fusion modes can be employed to retrieve various physico_chemical parameters of plastic waste for accurate segregation. We have discussed how these smart tools help in efficiently segregating commingled plastics and can be reliably used in the circular_economy of plastic. Using these tools, segregators, recyclers, and manufacturers can reliably share data, plan the supply chain, execute purchase orders, and hence, finally increase the use of recycled plastic feedstock.

**** *ABSTRACT_8 *ANO_2020 *AUTOR_Choi_et_al

From a supply_chain perspective, new technologies such as blockchain can improve the efficiency and competitiveness of logistics and increase customer satisfaction. Although blockchain technology has been lauded as a way for firms to build sustainable_supply_chain networks, the rate of acceptance of this technology remains low. Therefore, this study seeks to identify the factors that discourage firms from merging blockchain with the supply_chain.

Instead of providing further reasons for adopting blockchain technology, we try to understand what deters firms from adding blockchain to their operations. Following the deductive approach, a confirmatory factor analysis is conducted on pre_test questionnaires to test, improve, and verify the constructs questions to measure the hypothesized factors. A theoretical model is proposed based on the hypotheses, and structural equation modeling is applied. The results are estimated using the partial least squares approach and a sample of 83 respondents. Our findings based on our empirical data support most of our hypotheses. We find that various factors impede the adoption of blockchain technologies, including technological_barriers, constraints rooted in organizations and the environment, and system_related governmental_barriers. In addition, various factors are critical determinants of resistance to blockchain in the technological, organizational, and environmental dimensions.

**** *ABSTRACT_9 *ANO_2020 *AUTOR_Demestichas_e_Daskalakis

The concept of circular_economy CE is becoming progressively popular with academia, industry, and policymakers, as a potential path towards a more sustainable economic system. Information_and_communication_technology ICT systems have influenced every aspect of modern life and the CE is no exception. Cutting_edge technologies, such as big_data, cloud_computing, cyber_physical_systems, internet_of_things, virtual and augmented_reality, and blockchain, can play an integral role in the embracing of CE concepts and the rollout of CE programs by governments, organizations, and society as a whole. The current paper conducts an extensive academic literature review on prominent ICT solutions paving the way towards a CE. For the categorization of the solutions, a novel twofold approach is introduced, focusing on both the technological aspect of the solutions e.g., communications, computing, data analysis, etc., and the main CE concepts employed (i.e., reduce, reuse, recycle and restore that each solution is the most relevant to. The role of each solution in the transition to CE is highlighted. Results suggest that ICT solutions related to data collection and data analysis, and in particular to the internet of things, blockchain, digital platforms, artificial intelligence algorithms, and software tools, are amongst the most popular solutions proposed by academic researchers. Results also suggest that greater emphasis is placed on the reduce component of the CE, although ICT solutions for the other R_components, as well as holistic ICT_based_solutions, do exist as well. Specific important challenges impeding the adoption of ICT_solutions for the CE are also identified and reviewed, with consumer and business attitude, economic costs, possible environmental impacts, lack of education around the CE, and lack of familiarization with modern technologies being found among the most prominent ones.

**** *ABSTRACT_10 *ANO_2020 *AUTOR_Nandi_et_al

The COVID_19 pandemic has exposed businesses and societies to the shortfalls of normal patterns of production, consumption, and their long-lasting impact on supply_chains. In this opinion paper, we provide insights from the COVID_19 pandemic for making supply_chains more resilient, transparent, and sustainable. These insights include supply_chains needing to develop localization_agility_digitization LAD characteristics. We link LAD to a potential solution using blockchain technology and circular_economy principal capabilities. Use cases are used to show how blockchain enabled circular_economy_practices can support supply_chain LAD efforts. Supply_chain tracking, tracing, and responsiveness can be supported through blockchain enabled circular_economy_practices. One result of identifying these relationships include solutions and insights at multiple levels and stakeholders, individual, organizational, supply chain, governmental, and community. These crisis_related observations and findings set a future research foundation for sustainable_production and consumption.

**** *ABSTRACT_11 *ANO_2020 *AUTOR_Soldatos_et_al

In recent years there has been a growing interest in the Circular_Economy EC, which promises to reduce waste and improve sustainability. The EC promise is to change the conventional take_make_dispose that causes massive waste flows based on integrating demanufacturing and remanufacturing processes within value chains. This integration requires breaking down the silos of the circular_chain to establish new collaborative and sustainable value networks. The article presents a new digital platform for the CE, currently under development in the H2020 DigiPrime project. The platform is intended to facilitate the continuous and reliable exchange of information between circular actors, offering a variety of value-added services that allow manufacturers, remanufacturers, recyclers, and other actors to gain insights into the status of recycling processes and waste management. waste. The latter facilitates the implementation of zero_waste_processes along with evaluating the performance of the circular_chain. The article presents the architecture of the digital platform, along with its data modeling, data exchange, and traceability mechanisms. It also presents a CE use case used to validate the platform.

**** *ABSTRACT_12 *ANO_2020 *AUTOR_Tan_et_al

The logistics industry around the world has proliferated over recent years as a large number of business organizations have come to recognize the importance of logistics. Cost control used to be emphasized to remain competitive, but recently green_logistics has gained attention with the

awareness of the integration of economy and society as a whole. Nowadays, green_logistics is a useful concept to improve the sustainability of logistics operations, and its related policies and theoretical research have been investigated and explored. However, the practical applications of green_logistics are impeded by real_time data sharing, which is common in the logistics industry. blockchain technology is adopted to address this challenge and enable data sharing among related stakeholders. This paper presents a reference framework for green_logistics based on blockchain to reach the sustainable_operations of logistics, with the integration of the internet_of_things and big_data. Finally, potential benefits and limitations are analyzed when implementing this framework.

**** *ABSTRACT_13 *ANO_2020 *AUTOR_Wang_et_al

Circular_supply_chain_management is required for firms to transition from a linear make_use_dispose economic model to a more sustainable_circular_economy. However, it faces the critical challenge of tracing the reuse of materials over multiple life_cycles involving a variety of stakeholders. blockchain technology can help manage the complexities of circular_supply_chain_management. This paper takes the first step in developing a system architecture of blockchain enabled circular_supply_chain_management in the fast-fashion industry. The system architecture was validated by two experts in blockchain technology and supply_chain_management. Managerial implications are discussed for implementing blockchain technology to advance the circular_economy agenda.

**** *ABSTRACT_14 *ANO_2021 *AUTOR_Bekrar_et_al

The circular_economy is gaining in importance globally and locally. The COVID_19 crisis, as an exceptional event, showed the limits and the fragility of supply_chains, with circular_economy_practices as a potential solution during and post_COVID. Reverse_logistics RL is an importante dimension of the circular_economy which allows management of economic, social, and environmental challenges. Transportation is needed for RL to effectively operate, but research study on this topic has been relatively limited. New digitalization opportunities can enhance transportation and RL, and therefore further enhance the circular_economy. This paper proposes to review practical research and concerns at the nexus of transportation, RL, and blockchain as a digitalizing technology. The potential benefits of blockchain technology through example use cases on various aspects of RL and transportation activities are presented. This integration and applications are evaluated using various capability facets of blockchain technology, particularly as an immutable and reliable ledger, a tracking

service, a smart_contract utility, as marketplace support, and as tokenization and incentivization. We also briefly introduce the physical internet concept within this context. The physical internet paradigm proposed last decade, promises to also disrupt the blockchain, transportation, and RL nexus. We include potential research directions and managerial implications across the blockchain, transportation, and RL nexus.

**** *ABSTRACT_15 *ANO_2021 *AUTOR_Böckel_et_al

Extant research claims that the circular_economy concept has enormous potential to overcome downsides of status quo economic activities and to contribute to sustainable_development, but that the concept also faces challenges in realizing its potential. blockchain technology has been suggested as one possible critical solution to overcome the current barriers of implementing the circular_economy concept. This article addresses the nascent research field of blockchain for a circular_economy and examines current developments, from both research and practice. By developing and conducting research_practice gap analysis using a systematic literature review, this article identifies patterns of interests and opportunities for research and practice and uncovers mutual blind spots that need to be addressed in either sphere. A systematic_literature_review and qualitative_analysis covering 57 diverse documents journal articles, contents linked from twitter, and google results revealed three key findings: 1 a clear terminology of blockchain types, their technical properties and benefits are lacking in research, 2 trust and verification are major potential benefits but a challenge to create, and 3 a closer examination of possible benefits and challenges of blockchain technologies for the circular_economy with its links to sustainable_development is crucial.

**** *ABSTRACT_16 *ANO_2021 *AUTOR_Boutkhoul_et_al

blockchain technology has received wide attention during recent years, and has huge potential to transform and improve supply_chain_management. However, its implementation in the SSCM Sustainable_Supply_Chain_Management strategy is sophisticated, and the challenges are not explored very well, especially in the Moroccan context. To this end, the chief objective of the current endeavor is to investigate the barriers that hinder the adoption of blockchain technology in SSCM from the Moroccan industry and service sectors perspective. Based on a comprehensive literature search and the use of expert viewpoints, the barriers affecting the successful implementation of blockchain are classified into three categories called TEO technological_and_system, environmental, and intra_organizational dimensions. In this context, a fuzzy group decision_making framework is organized by combining DEMATEL

Decision_Making_Trial_and_Evaluation_Laboratory and IFAHP Intuitionistic_Fuzzy_Analytic_Hierarchy_Process. The IFAHP technique helps to determine the importance_priorities of barriers affecting blockchain adoption, while the DEMATEL technique forms the cause_effect interconnections between these barriers and classifies them concerning the degree of importance and relationships. The results reveal that government policy and support and challenges in integrating sustainable_practices and blockchain technology through SCM are significant adoption barriers of blockchain in Moroccan SSCM. The proposed solution can support industrial decision makers to form flexible short and long_term decision_making strategies to efficiently manage a sustainable_supply_chain.

**** *ABSTRACT_17 *ANO_2021 *AUTOR_Caldarelli_et_al

Purpose: This paper aims to examine and overcome the barriers to the widespread adoption of blockchain technology, introducing a novel concept of sustainability in the fashion supply_chain. Design_methodology_approach This work is an exploratory study of a well-known fashion company operating in the Veneto region Italy. Data extracted from interviews and focus groups are coded using the CAQDAS software AQUAD. The outcome is then organized according to an adapted TOE view. Findings: This exploration study findings support the idea that the blockchain solution could be a valuable add_on in sustainable_supply_chains. However, a high understanding of technology and extensive communication with clients is required for successful integration. Research_limitations_implications: Being the outcome of qualitative analysis, the findings require further investigation to be inferable at a broader scale. As the project is still incomplete, some managerial choices are always subject to change. Practical implications Focused on a practitioner approach; this paper should guide managers in the process of successfully implementing blockchain technology. Arguably, similar companies may opt for similar choices. Originality_value: To the best of the authors knowledge, this is the first paper to contextualize and address the blockchain adoption barriers in the fashion supply_chain. Furthermore, it offers an overview of how blockchain affects sustainable_production.

**** *ABSTRACT_18 *ANO_2021 *AUTOR_Çetin_et_al

Digital technologies are considered to be an essential enabler of the circular_economy in various industries. However, to date, very few studies have investigated which digital technologies could enable the circular_economy in the built_environment. This study specifically focuses on the built_environment as one of the largest, most energy and material

intensive industries globally, and investigates the following question which digital technologies potentially enable a circular_economy in the built_environment, and in what ways? The research uses an iterative stepwise method: 1 framework development based on regenerating, narrowing, slowing and closing resource loop principles; 2 expert workshops to understand the usage of digital technologies in a circular built environment; 3 a literature and practice review to further populate the emerging framework with relevant digital technologies; and 4 the final mapping of digital technologies onto the framework. This study develops a novel Circular Digital Built Environment framework. It identifies and maps ten enabling digital technologies to facilitate a circular economy in the built environment. These include: 1 additive robotic manufacturing, 2 artificial_intelligence, 3 big_data and analytics, 4 blockchain technology, 5 building information modelling, 6 digital platforms marketplaces, 7 digital_twins, 8 the geographical_information_system, 9 material passports databanks, and 10 the internet_of_things. The framework provides a fruitful starting point for the novel research avenue at the intersection of circular_economy, digital technology and the built_environment, and gives practitioners inspiration for sustainable innovation in the sector.

**** *ABSTRACT_19 *ANO_2021 *AUTOR_Hatzivasilis_et_al

Eco_friendly systems are necessitated nowadays, as the global_consumption is increasing. A data_driven aspect is prominent, involving the internet_of_things IoT as the main enabler of a circular_economy CE. Henceforth, IoT equipment records the systems functionality, with machine_learning ML optimizing green_computing_operations. Entities exchange and reuse CE assets. Transparency is vital as the beneficiaries must track the assets history. This article proposes a framework where blockchaining administrates the cooperative vision of CE_IoT. For the core operation, the blockchain ledger records the changes in the assets states via smart contracts that implement the CE business logic and are lightweight, complying with the IoT requirements. Moreover, a federated learning approach is proposed, where computationally intensive ML tasks are distributed via a second contract type. Thus, green_miners devote their resources not only for making money, but also for optimizing operations of real_systems, which results in actual resource savings.

**** *ABSTRACT_20 *ANO_2021 *AUTOR_Khadke_et_al

Global plastic_waste is increasing rapidly. In general, densely populated regions generate tons of plastic_waste daily, which is sometimes disposed of on land or diverged to sea. Most of the plastics created in the form of waste have complex degradation behavior and are

non_biodegradable by nature. These remain intact in the environment for a long_time span and potentially originate complications within terrestrial and marine_life_ecosystems. The strategic management of plastic_waste and recycling can preserve environmental species and associated costs. The key contribution in this work focuses on ongoing efforts to utilize plastic_waste by introducing blockchain during plastic_waste recycling. It is proposed that the efficiency of plastic_recycling can be improved enormously by using the blockchain phenomenon. Automation for the segregation and collection of plastic_waste can effectively establish a globally recognizable tool using blockchain_based_applications. Collection and sorting of plastic_recycling are feasible by keeping track of plastic with unique codes or digital badges throughout the supply_chain. This approach can support a collaborative digital consortium for efficient plastic_waste_management, which can bring together multiple stakeholders, plastic_manufacturers, government_entities, retailers, suppliers, waste_collectors, and recyclers.

**** *ABSTRACT_21 *ANO_2021 *AUTOR_Khanfar_et_al

Developing sustainable products and processes is essential for the survival of manufacturers in the current competitive market and the I4.0 era. The activities of manufacturers and their supply_chain_partners should be aligned with sustainable_development_goals. Manufacturers have faced many barriers and challenges in implementing sustainable_practices along the entire supply_chain due to globalisation, outsourcing, and offshoring. blockchain technology has the potential to address the challenges of sustainability. This study aims to explain the applications of blockchain technology to sustainable_manufacturing. We conducted a systematic_literature_review and explained the potential contributions of blockchain technology to the economic, environmental, and social performances of manufacturers and their supply_chains. The findings of the study extend our understanding of the blockchain_applications in sustainable_manufacturing and sustainable_supply_chains. Furthermore, the study explains how blockchain can influence the sustainable performance of manufacturers by creating transparency, traceability, real_time_information sharing, and security of the data capabilities.

**** *ABSTRACT_22 *ANO_2021 *AUTOR_Liu_et_al

Globalization initiated the challenges in supply_chain SC such as management and control. In this situation, blockchain as a digital distributed_ledger can guarantee clarity, tractability, and safety. Many case studies proved that we can use blockchain Technology BT to solve global

supply_chain problems especially in smart_contracts with their potential applications. blockchain is in its early period and it is hard to find supply_chains that have successfully implemented this technology to track their sustainable_actions. Therefore, it is worth studying about the role of customers, members, domestic, national, and international challenges that could resist implementing Blockchain and may affect SC sustainability. Accordingly, four categories of barriers to the use of BT are introduced which are inter_organizational, intra_organizational, technical, and external barriers. Then with Bayesian_Best_Worst_Method, we ranked the BT barriers and the sub_barriers. The study illustrates the interconnection of these barriers and the priority of each element. The lack of business models and the best practices in implementing blockchain technology is a challenge and it is important that practitioners acknowledge these barriers in the first steps.

**** *ABSTRACT_23 *ANO_2021 *AUTOR_Magrini_et_al

Nowadays, high expectations are set for a digitally enabled circular_economy CE, to enhance resource efficiency. Tracing, tracking, and storing information is most important for this. In this paper, the application of internet_of_things IoT and Distributed_Ledger_Technology blockchain are hence discussed by presenting the case of professional Electrical_and_Electronic_Equipment EEE in Italy. Within the context of CE, prevention of electronic_waste WEEE is extremely relevant as it is a fast_growing waste stream, and the products contain environmentally damaging substances as well as valuable and rare materials. The use of a proper combination of IoT and blockchain can help the producers to keep control on products until EEE_end_of_life, while promoting CE strategies and supporting decision_making. Based on the outcomes of five interviews conducted in 2019 to companies of the EEE_sector, potential improvements in the EEE_end_of_use_management are discussed. After providing the definition of requirements for both the technical solution and its testing are provided, three solution variations and the related business models are created and presented, as well as considerations on their environmental and economic_impacts. The study shows how digital technologies can support the appropriate and circular_management of EEE products and WEEE.

**** *ABSTRACT_24 *ANO_2021 *AUTOR_Mathivathanan_et_al

Product_Recovery_System PRS transfers products from their typical final place to their source to arrest some value on the product. There are obstructions, such as costs, associated with the modification of accounts and assessment of products and refunds associated with the

implementation of PRS. blockchain Technology BCT emerged as an innovative approach to constructing trust in a trustless environment and assures the availability, traceability, and security in data management. It also presents a valuable solution to PRS. This study aims to analyze the Blockchain_Readiness_Challenges BRCs to PRS in the context of manufacturing industries. The study observes 20 readiness challenges linked with the implementation of BCT in PRS. The BRCs are identified from the literature_survey and confirmed after consequent examinations with industry experts and researchers. The study employed a Multi_Criteria_Decision_Making MCDM i.e., the Decision_Making_Trial_And_Evaluation_Laboratory Fuzzy_DEMATEL approach to find the cause_and_effect interactions to prioritize BRCs. The Maximum_Mean_De_Entropy MMDE algorithm was adopted to establish the threshold value based on the information entropy of the interactions among the BRCs for PRS. The fuzzy set theory was adopted to tackle the uncertainty and vagueness of personnel biases and data deficiency problems. The findings from this study reveal that inadequate financing for PRS exercises, lack of governance and standards, and security challenges to BCT implementation are the most influential readiness challenges for the adoption of blockchain in PRS. The study is useful to manufacturing organizations for identifying the potential BRCs to implement PRS among all existing readiness challenges so that they can take suitable measures before proceeding to adopt blockchain in PRS. The managers are suggested to eliminate the readiness challenges and widen the blockchain technology adoption in PRS.

**** *ABSTRACT_25 *ANO_2021 *AUTOR_Oropallo et al.

Trust, traceability, and transparency emerge as critical factors in designing circular blockchain platforms in supply_chains. To bridge the three circular supply_chain reverse_processes i.e., recycle, redistribute, remanufacture and the three_actors affecting blockchain technologies i.e., trust, traceability, transparency, this paper proposes the integrated Triple Retry framework for designing circular blockchain platforms. A circular blockchain platform was designed in a supply_chain, including manufacturer, reverse_logistics service provider, selection centre, recycling centre, and landfill. The results highlight blockchain role as a technological capability for improving control in the movement of wastes and product return management activities.

**** *ABSTRACT_26 *ANO_2021 *AUTOR_Sahoo et al.

Purpose: The rapid technological growth, changes in consumer_demands, products_built_in_obsolescence, presence of more non_repairable parts, shorter lifespan, etc.,

lead to the generation of e_waste at an unprecedented rate. Although a number of research proposals and business products to manage e_waste exist in the literature, they lack in many aspects such as incomplete coverage of product_life_cycle, access_control, payment_channels in few cases, incentive_mechanisms, scalability_issues, and missing_experimental_validation. The purpose of this paper is to introduce a novel blockchain_based_e_waste_management_system aiming to mitigate the above_mentioned downsides and limitations of the existing proposals.

Design_methodology_approach: This paper proposes a robust and reliable e_waste_management_system by leveraging the power of blockchain technology, which captures the complete life_cycle of products commencing from their manufacturing as new_products to their disposal as e_waste and their recycling back into raw materials.

Findings: While the use of blockchain technology increases accountability, transparency and trust in the system, the proposal overcomes various challenges and limitations of the existing systems by providing seamless interactions among various agencies.

Originality_value: This paper presents a prototype implementation of the system as a proof_of_concept using solidity on the Ethereum platform and this paper performs experimental evaluations to demonstrate its feasibility and effective performance in terms of execution gas cost and transaction throughput.

**** *ABSTRACT_27 *ANO_2021 *AUTOR_Shih et al.

With the rapid development of e_commerce services, online retail has evolved from multichannel to omni_channel in order to provide customers with more services. However, reverse_logistics services returns and exchanges have become the target of many fraudulent activities, causing a lot of economic losses for many online retail companies. The current challenge of the traditional countermeasure is it requires a lot of manpower and training resources. In this study, we propose ESPRES, a system that adopts blockchain technology to prevent fraudulent behavior in the process of returns and exchanges with the smart_contract and multi_attribute_decision_support method to help consumers choose a suitable_payment_program. A practical implication of this study is that by adopting blockchain technology, a great amount of manpower used on determining whether each return or exchange is fraudulent can be reduced since merchants can check the product ownership. In addition, due to the fact that the footprint of goods cannot be forged, it can also prevent counterfeit or parallel imports of goods.

**** *ABSTRACT_28 *ANO_2021 *AUTOR_Shojaei et al.

The concept of a circular_economy CE encompasses a comprehensive approach to conscious design and material choice, in addition to keeping products at their utmost utility during production, operation, and reuse cycles through the implementation of closed_loops. A blockchain allows for a fast, secure, and accessible information network by providing a decentralized_ledger where materials and products can be traced to their sources. This paper investigates blockchain as a promising technology for the facilitation of a CE in the built_environment. In support of this, a blockchain model is presented and tested through a synthetic case study to provide a proof of concept as to the feasibility of blockchain as an enabler of a CE in the built environment. With utilization of a blockchain, the current state of each material and component can be tracked, making the proactive planning for their reusability a tangible reality. The findings of the synthetic case study reveal that a blockchain can provide full material and energy traceability, enabling the user to make predictions for the recycling and reuse of materials and goods used in the built environment. blockchain is shown to be a feasible and novel approach for employing CE concepts in the built environment domain. Additionally, the framework presented here could be beneficial for smart cities and communities, where a blockchain style of information flow can produce synergy with other aspects of a smart and connected community.

**** *ABSTRACT_29 *ANO_2021 *AUTOR_Steenmans_et_al

The literature on blockchain technology and circular_economy is at a nascent stage, with only initial limited and superficial recognition of the possible role blockchain may have in supporting circular_economy laws and policies. This paper contributes to this emerging area by exploring the regulatory_opportunities and challenges for adoption of blockchain for circular_waste_management. In particular, through a mixed methods approach combining empirical and doctrinal research, this paper presents initial findings on: 1 the current role of blockchain within the legal landscape on circular_economies; 2 the regulatory barriers of blockchain application to circular_economies; and 3 opportunities of blockchain in supporting regulatory_mechanisms promoting circularity.

**** *ABSTRACT_30 *ANO_2021 *AUTOR_Su_et_al

sustainable_supply_chain_management SSCM has been attracting extensive attention from both practitioners and scholars. The main objective of this paper is to visualize and conduct a systematic scientometric review on 9151 articles and reviews published from 2007 to 2021.

Research techniques of co_author analysis, co_word analysis, and co_citation analysis are applied to reveal the social structure, conceptual structure, and intellectual structure of the SSCM field, identify main concepts and research hotspots, and illuminate major specialties and emerging trends. The results of this work show that: 1 the top five most productive scholars are Joseph Sarkis, KannanG ovindan, Minglang Tseng, Angappa Gunasekaran, and Charbel Jose Chiappetta Jabbour. The top five most productive institutions are Hong Kong Polytech University, Islamic Azad University, University of Southern Denmark, Dalian University of Technology, and University of Tehran. 2 The main concepts include sustainable_supply_chain_management, green_supply_chain_management, circular_economy, corporate_social_responsibility, and reverse_logistics. The research hotspots of the SSCM field, currently, are game theory and circular economy related topics. (3) The leading researchers and influential journals are also identified. The emerging trends include sustainable supplier selection, circular economy, cap_and_trade regulation, blockchain technology, big_data analytics, the COVID_19 pandemic, and the best_worst_method and logistics_performance. Finally, limitations and future researches are discussed. We expect this paper will show a big picture of the SSCM field for researchers as well as practitioners.

**** *ABSTRACT_31 *ANO_2021 *AUTOR_Sunmola_et_al

Global supply_chains shift to meet exceeding expectations in supply_chains lead to the need for digital technologies in supply_chain_management. I4.0 has emerged in sustainable_supply_chain_systems, blockchain is prominent, with the potential of immutable transparent data. blockchains present potential to disrupt_supply_chains through digital_transformation by enabling provenance, visibility, relationships, collaboration, lower_costs, and enabling real_time trusted_data. Scholars are increasingly investigating blockchain adoption, with an emphasis on technology acceptance modelling. Current research is valuable to understand potentials of blockchain technology in supply_chains however, there is limited work on the building blocks for blockchain adoption in digital_transformation of supply_chains. This study aims to investigate through a systematic_literature_review and case_studies, the building blocks for blockchain adoption in digital transformation of sustainable supply chains. Blockchain adoption in supply chain management is receiving increasing attention, along with highlights of critical factors. This paper offers a building block model that is in three main phases; pre_adoption, adoption, and the post_adoption. The model indicates that adoption context, blockchain technology platform offerings, strategic responses, and adoption readiness are some key building blocks, particularly at the pre_adoption phase.

Trust and supply_chain_network, firm resources, and blockchain costs are all considered critical in the considerations of the building blocks. In addition, aligning supply_chain objectives with blockchain systems are critical and so is blockchain compatibility. Law and governance are amongst the two prominent challenges in blockchain adoption and should be considered as part of the building blocks for blockchain adoption.

**** *ABSTRACT_32 *ANO_2021 *AUTOR_Varriale_et_al

The digital_transformation of supply_chains should revolutionize entire management processes and improve various aspects of sustainability. In particular, the plans of I4.0 aim towards a digitization of several procedures by exploiting emerging technologies such as the internet_of_things, RFID and blockchain. The purpose of this study is to highlight how order and disruption events processes can be improved with the adoption of emerging technologies and how this reflects on the improvement of sustainability aspects. The study is based on the comparison of two simulation scenarios between three actors in the cheese supply chain. In particular, a first traditional scenario as_is is simulated without the use of new technologies and is compared to a second scenario to_be that adopts IoT, RFID and blockchain. The results show an improvement in time performance for managing both perfect and non_compliant orders. The developed framework highlights the impact of new technologies on sustainability aspects, showing further managerial implications.

**** *ABSTRACT_33 *ANO_2021 *AUTOR_Voorter_e_Koolen

The construction_sector plays a crucial role in the transition to a circular_economy and a more sustainable society. With this objective in mind, Flanders the Dutch speaking part of Belgium makes use of a traceability procedure for construction and demolition waste in order to guarantee that value can be derived from downstream waste processing activities. This article takes this traceability procedure as a legal case study and examines if the use of blockchain technology could lead to even stronger supply_chains, better data management, and, more generally, a smoother transition to circular_practices in the construction_sector.

**** *ABSTRACT_34 *ANO_2022 *AUTOR_Agnusdei_et_al

The high value and volume of Italian wine production determines a strong stimulus for counterfeiting, which generates negative consequences for grape growers, winemakers and consumers. In this context, IoT technologies and the blockchain can serve as tools to ensure traceability, transparency and efficiency along the whole wine supply_chain. Using primary

data collected through interviews to the main grape growers and wineries involved in the wine supply_chain in the Southern_Apulia_Region and secondary data, acquired from previous scientific_literature, the study proposes a framework for the traceability and efficiency of the wine supply_chain based on a combination of blockchain, Radio_Frequency_iIdentification RFID and Near_Field_Communication NFC tags, Serial_Shipping_Container_Codes SSCC and Quick_Response QR codes. The developed framework allows for the systematic storage of information about commodities and processes throughout the supply_chain, from grape growers to wine consumption and packaging disposal and or reuse forward and reverse flows. In addition, it ensures the transparency, safety, and security of all processes involved within the wine supply_chain, serving as a quality information management tool. The information collected along the wine supply_chain is entered into the management system by farmers, winemakers and bottlers and is accessible to all of them, while the distributors, consumers and the bottle reverse_logistics operators, can only consult all of the information stored on the blockchain in order to know the origin, the quality, the processing and the authenticity of wines, without being able to enter data and or modify the existent information.

**** *ABSTRACT_35 *ANO_2022 *AUTOR_Bendarag_et_al

Currently, the emerging countries like Morocco seeks to benefit from the potential of blockchain technology to meet its various growing demands, especially in sustainable_supply_chain_management SSCM. This explains the need for more effort to understand blockchain implementation and identify the barriers influencing the blockchain adoption decision in SSCM, especially, from Moroccan industry and service sectors perspective. In this context, this research paper proposes a group decision_making approach to identify the barriers from a comprehensive literature search, then evaluate them based on intuitionistic_fuzzy_analytic_hierarchy_process IFAHP. Due to the varied importance of the selected barriers, IFAHP is utilized to allocate priority weights for each barrier according to its importance level. The evaluation results reveal that Government_policy_and_support and Challenges in integrating sustainable_practices and blockchain technology through sustainable_supply_chain_management SCM are the best ranked barriers that impact the implementation of blockchain technology in Moroccan context. The main objective is to inquire the barriers preventing the blockchain implementation, and assist industry decision-makers in developing supply short-and long-term decision-making strategies for better sustainable supply chain management. Keywords: Blockchain Document security systems Intuitionistic fuzzy

analytic hierarchy process sustainable_supply_chain This is an open access article under the CC BY_SA license.

**** *ABSTRACT_36 *ANO_2022 *AUTOR_Böhmecke-Schwafert_et_al

blockchain is increasingly lauded as an enabler of the transition to a circular_economy. While there is considerable conceptual research and some empirical studies on this phenomenon, scholars have yet to develop a theoretical model of blockchain role in this transition. Grounded in the sustainability transition literature, this paper addresses this gap through the following research question What role does blockchain play in the transition to a circular_economy Following an additive approach, we conducted interviews with ground_level experts implementing blockchain innovations for the circular_economy across Europe and the United_States. Through a thematic_analysis, we derived a theoretical_model of the relationships among 1 drivers and barriers of the transition to a circular_economy, 2 blockchain innovation for the circular_economy, 3 technical_challenges of blockchain, and 4 the circular_economy. While blockchain plays a moderating role, interviewees considered it only an infrastructural resource rather than a panacea.

**** *ABSTRACT_37 *ANO_2022 *AUTOR_Elhidaoui_et_al

The main purpose of this paper is to study the critical_success_factors CSFs of the blockchain technology BCT adoption in green_supply_chain_management GSCM which might be literally a first attempt and also propose a conceptual framework of a GSCM model adopting the BCT, which will be promoting the combination of these two areas in the future. A critical literature review of the BCT, GSCM, and BCT_based_GSCM was conducted to identify the most relevant factors of BCT adoption, followed by the model formulation with the help of interpretive_structural_modelling ISM consisting of CSFs and relationships between those based on experts views. The overall results emphasized that recording and trading related factors may contribute to the BCT adoption, while others like smart contract must be enhanced. This study supports previous conceptual work on BCT and GSCM and could serve as a starting point to assist in decision_making.

**** *ABSTRACT_38 *ANO_2022 *AUTOR_Govindan

As a concern with manufacturing industries, circular_economy CE practices often labeled circular_manufacturing CM are industrial tasks through which several circular_economy_principles have been integrated. Among these

circular_manufacturing_strategies, 3R recycle, refurbish_remanufacture, and reuse_redistribute is the key strategy that assists the manufacturing industry with closing the loop for sustainability. An effective inclusion and management of 3R lead a firm to a greater likelihood of successfully integrating CE and CM. In recent years, remanufacturing has gained greater prominence, especially with the emergence of technology, including cyberphysical_systems. These technologies assist the remanufacturing firm with eficiente take_back_systems through tracking. However, data transferred through these technologies among value_chain_partners in remanufacturing are not reliable. Due to the lack of trust and transparency, value_chain_partners are hesitant to participate in remanufacturing_supply_chains. To address the limitation of technologies in remanufacturing, blockchain has been introduced to secure the data. Despite the advantages of blockchain technology, practitioners face difficulties in integrating these blockchain technologies into the remanufacturing context. Several earlier studies addressed the challenges of implementing blockchain, but no earlier studies have specifically examined remanufacturing industries, which are entirely different from forward supply_chain industries. Concerning the fact, this study identifies the barriers that exist with the implementation of blockchain technology in the application of the remanufacturing sector. A framework has been proposed and validated in a Danish automotive parts remanufacturing company. Multi_criteria_decision_making_method has been used to identify the effective and most influential barriers among common barriers. Results reveal that scaling of technology B6 is the key barrier of BCT implementation in remanufacturing context. This study concludes with useful discussions based on the results along with the recommendations to eradicate those influential barriers and their respective impacts on SDGs SDG4, SDG8, SDG9, and SDG17. Finally, this study sheds light on future enhancements on the integration of blockchain technology in remanufacturing to reap several benefits of circular_manufacturing.

**** *ABSTRACT_39 *ANO_2022 *AUTOR_Gong_et_al

The threat to the environment and humanity caused by marine_plastic_debris has aroused global attention. This research aims to explore the feasibility of applying blockchain technology BCT in marine plastic_debris_management. A case study on three pioneer recycling organizations is conducted based on secondary data. The study found that BCT can be applied to solve some of the existing challenges of marine_plastic_debris_management. A digital token system and identity recognition mechanism based on BCT can increase the public awareness for marine_plastic_debris_governance. The derived digital wallets and distributed_ledgers can

effectively replace paper documents and cash transactions in the traditional recycling chain, and minimize global impact on local economies, thus improve efficiency and safety. Also, the traceability and high transparency of blockchain and the application of smart_contracts can effectively build a global recycling network. In addition, the application of BCT can greatly improve the transparency of recycling value chains, and make them more accepting of super_vision from society and consumers. This research is one of the first studies on BCT in marine_plastic_debris_management and explores worldwide pioneering companies. In practice, this study can help companies analyse the defects in their own waste disposal models and help practitioners make decisions to adopt BCT. In academia, as one of the early exploratory studies on the application of BCT to the treatment of marine_plastic_debris, this study provides further empirical reference on BCT_based_business_models and recycling chains, and can guide future research in this field.

**** *ABSTRACT_40 *ANO_2022 *AUTOR_Hrouga_et_al

Asbestos has been considered as a hazardous waste in France since 1997 and it is neither recyclable nor recoverable. Hence, its storage and processing have a major impact on both human health and environment. In addition, its treatment is subject to very strict environmental regulations. Hence, to minimize the environmental regulations impact, the treatment of asbestos requires tools and new information_technology IT enabling real_time information sharing with all reverse supply chain RSC actors. A successful integration of new IT such as blockchain technology and internet_of_things IoT can lead to several advantages in order to help asbestos waste management. This study aims at integrating and combining Blockchain and IoT to digitize RSC for asbestos waste treatment. First, we investigate the roles and impacts of blockchain and IoT on forward and reverse supply chain performances. Second, we propose two new conceptual models for both open and close loop digital RSC. Finally, to demonstrate the feasibility and effectiveness of integration and combination of these digital technologies, we propose a case study for asbestos waste management. The results show that the combination of blockchain and IoT can be implemented to provide robust digital RSC.

**** *ABSTRACT_41 *ANO_2022 *AUTOR_Jraisat_et_al

This research explores the role of blockchain Technology BCT integrated with reverse_supply_chain_networks RSCN and evaluates the relationship between BCT and sustainability performance. A qualitative research design was employed to develop a conceptual framework for BCT in RSCN. This research collected and analysed primary and

secondary data from four cases as focal_actors. These focal_actors are from multi_industries in Jordan, namely food, pharmaceuticals, electronics, and toys. These actors are lead_firms and have experience working with RSCNs and technology applications such as BCT. Primary data were acquired from interviews with managers working in these industries, which were supported by the analysis of secondary data that identified two types of themes: internally focused and externally focused BCT_integrated_drivers of RSCNs. The analysis also identified how they leverage sustainability performance improvements, including their use of RSCN approaches and features. This research is one of the few attempts to explore BCT integrated into RSCN for better sustainability performance that contributes to the theoretical and practical knowledge of supply_chains within emerging economies. All types of actors_as_stakeholders involved with national programs and projects can adopt the new framework. The key findings contribute to the field of RSCN where the adoption of BCT as a broad_based_strategy to attain sustainability goals and reverse chain activities along the supply_chain is a goal.

**** *ABSTRACT_42 *ANO_2022 *AUTOR_Kayikci_et_al

The growing importance of the circular_economy has emphasised optimal utilisation of resources within the constraints of economic_development and protection of the environment. Digital technologies associated with I4.0, such as blockchain, facilitate the implementation of circular_economy_principles throughout the supply_chain. However, because blockchain implementation in the supply_chain is still in the early stages, real_world_examples of the blockchain_based_circular_supply_chains CSCs are limited. The principal purpose of the paper is to examine the critical_success_factors CSFs for implementing blockchain_based CSCs. Following that, 10 CSFs are identified through a short systematic_literature_review, and then, the integrated_fuzzy_cognitive_mapping_and_fuzzy_best_worst_method FCM_FBWM is implemented to examine CSFs for the blockchain_based CSC. The study main findings demonstrate that network collaboration is the best CSF, while the shared circular economy toolbox is counted worst of all. This research enriches the literature by identifying the CSFs for implementing blockchain_enabled CSCs to address the lack of a suitable decision_making framework that assists managers in comprehending how blockchain technology can be adopted in the circular economy context. Implications for theory and practice are also discussed, offering new insights into the measures necessary to ensure successful blockchain implementations in CSCs.

**** *ABSTRACT_43 *ANO_2022 *AUTOR_Rejeb_et_al

blockchain can help to fundamentally alter aspects of circular_economy CE activities and overcome pressing sustainability issues. Nevertheless, limited studies have investigated the barriers to blockchain adoption in the CE. This study aims to close the knowledge gap by providing a comprehensive review of the barriers hampering the adoption and integration of blockchain technology in the CE. An integrated approach based on fuzzy_Delphi and best_worst_methods has been applied to analyze and rank the barriers. Sixteen barriers to blockchain adoption in the CE were identified from the academic literature and validated by a panel of experts. The findings from the fuzzy_Delphi technique identified ten significant barriers for further analysis. Then, using the best-worst method, the optimal weights were determined based on the experts' judgment to recognize the importance of each barrier. The findings from this method showed that a lack of knowledge and management support, reluctance to change and technological immaturity are the most significant barriers. In contrast, the least significant barriers are investment costs, security risks, and scalability issues. Theoretically, this study is the first to apply an integrated approach combining fuzzy_Delphi and best_worst_techniques to prioritize the barriers to blockchain adoption in the CE. It also provides valuable insights for managers and decision_makers that can be used to optimize blockchain implementations in the CE.

**** *ABSTRACT_44 *ANO_2022 *AUTOR_Wang_X_et_al

This paper considers a dynamic platform based, closed_loop supply_chain consisting of a manufacturer and an online platform. As an online distributor of the manufacturer, the platform expands the market scale by exerting the platform power. At the same time, to solve the problem of inconsistency between the actual recycling amount and the theoretical recycling amount in the recycling process of waste_electronic_products, the whole_process supervision of waste products is carried out with the help of blockchain technology, which is difficult to tamper with and is traceable. With the help of differential game theory, four differential game models of manufacturer recycling and platform recycling with and without blockchain are established. The state feedback strategies are derived from Bellmans continuous dynamic programming theory. Through analytical results and comparative analysis, the adoption conditions of blockchain and the impact of blockchain on the selection of recycling models are obtained. The results illustrated that the introduction of blockchain technology effectively improves the real recycling rate of waste_electronics, building trust in consumers, which benefits corporations in certain conditions. However, it amplifies the double marginal effect of the CLSC. Nevertheless, the implementation of blockchain is still beneficial to consumers, as the adverse impact of the

double marginal effect is compensated by the improvement in consumer surplus. In addition, the study shows that the implementation of the blockchain incentivizes members, who benefit on the same recycling model when the fixed cost of the blockchain and the share ratio of the residual value of waste_electronics are between certain thresholds. That is, both the manufacturer and the platform are better off in a manufacturer recycling model enabled by blockchain. Moreover, in this model, the social welfare and the recycling rate of waste_electronics are increased, which enable the CLSC to achieve benefits related to economy, environment, and society.

**** *ABSTRACT_45 *ANO_2022 *AUTOR_Yu_et_al

Rising environmental concerns and globalization of supply_chain made their control and management difficult. blockchain technology, as a distributed_digital_ledger technology, guarantees security, visibility, traceability, and transparency promises ease for environmental and global supply_chain problems. In this research work, blockchain technology and business analytics techniques were critically analyzed in the context of supply_chain. Global and local governmental bodies, consumers, and communities are putting pressure to meet sustainability goals, which prompts us to investigate how these technologies can address and aid remanufacturing and recycling practices and sustainability in supply chain. The results illustrate that advanced technologies have a key role in the implementation of remanufacturing and recycling practices. The results also indicate that the remanufacturing and recycling practices substantially improve automobile firm performance. Moreover, the results also indicated that COVID_19 pandemic has positive moderating effect between advanced technology and remanufacturing and recycling practices while having insignificant effect between remanufacturing and recycling practices and automobile firm performance.

APÊNDICE D – TECNOLOGIA BLOCKCHAIN

Satoshi Nakamoto (2008) apresentou os conceitos-chave da tecnologia *blockchain*, definindo-a como uma tecnologia que usa a mineração de dados com o intuito de criar uma arquitetura de redes de computadores ponto-a-ponto na qual cada par coopera entre si para fornecer serviços um ao outro, sem a necessidade de um servidor central. Isso descentraliza as transações por meio de um algoritmo de segurança para as entidades da rede arquitetônica (Nakamoto, 2008). Desta forma, a estrutura da tecnologia *blockchain* é composta basicamente de três partes, a saber: (i) *Block* que representa uma lista de transações registradas em um livro-ração descentralizado, ou seja, o registro de dados, (ii) *Chain* que caracteriza a cadeia de códigos *hash* ligando um bloco no outro, encadeando-os matematicamente com segurança criptográfica e, (iii) Rede *blockchain Peer-to-Peer*, ou simplesmente rede *blockchain* é um conjunto de nós, chamado de *full node*, onde cada nó (*node*), representa um computador conectado à internet executando um algoritmo de segurança em uma cópia completa da rede *blockchain* que contém de todas as transações que já foram registradas, portanto, uma rede descentralizada que pode ser gerenciada por cada nó (Varriale et al., 2020). O gerenciamento de um *full node* exige investimento em infraestrutura tecnológica, o que é recompensado com porcentagens de criptomoedas pelos serviços de mineração executados por cada nó para toda a rede *blockchain* (Tran et al., 2021).

A criptografia, por sua vez, é um conjunto de operações matemáticas organizadas em algoritmos e adotada como medida de segurança da informação e de proteção do usuário, de acordo com Varriale et al. (2020). Ela serve para proteger informações trocadas em um ambiente virtual na qual somente o emissor e o receptor conseguem decifrar a criptografia e obter a informação. A necessidade de sua utilização ocorre em função de ataques cibernéticos e de vazamento de dados que acenderam o alerta em aumentar a segurança e proteção de informações coletadas e armazenadas tanto na internet como em banco de dados locais. Desta forma, algoritmos de segurança desempenham um papel fundamental no gerenciamento da segurança das informações e na proteção dos dados de usuários. Esses algoritmos reforçam a segurança de uma mensagem ou arquivo embaralhando seu conteúdo por meio de operações matemáticas. Desta forma, o remetente e o destinatário precisam de chaves criptográficas que são uma sequência de caracteres usada em um algoritmo de criptografia para criptografar e descriptografar dados enviados e recebidos através de computadores utilizados na comunicação entre o emissor e o receptor do dado (Varriale et al., 2020).

Entre os algoritmos de segurança disponíveis, a tecnologia *blockchain* faz uso do algoritmo SHA-256 que apresenta como principal característica a segurança de não ser descryptografado, ou seja, uma vez em que a entrada é criptografada, o código *hash* gerado na saída não retorna mais ao valor de entrada (Tran et al., 2021). O SHA-256 ou Algoritmo de Dispersão Seguro 256 (do inglês, *Secure Hash Algorithm*) foi publicado em 2001 pelo Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos Estados Unidos da América conhecido pela sigla NIST (do inglês, *National Institute of Standards and Technology*) e utiliza a função *hash* também conhecida como Função Resumo. Segundo Yang et al. (2019), a Função Resumo, cria um código *hash* de saída formado por um conjunto de 64 caracteres alfanuméricos e fixo a partir da dispersão ou do embaralhamento de uma cadeia de caracteres formada por entradas de qualquer tamanho ou formato e que terá sempre o tamanho de 256 bits de informação processada e armazenada por computadores. Ademais, existem websites gratuitos especializados em demonstrar a criação de blocos com códigos *hash* a partir do algoritmo SHA-256 e o encadeamento de blocos em uma rede *blockchain Peer-to-Peer*, conforme apresentado na Figura 24 (Anders Brownworth, 2023).

Figura 24 – Bloco gerado com código hash provisório e bloco validade com código hash permanente

Posição que o bloco irá ocupar na cadeia de blocos da rede blockchain

Bloco: # 201

Nonce:

Número aleatório que deverá ser encontrado para validar o bloco

Dados:

- Cliente: Indústria de Móveis A
- Código cliente: 12345
- Localização: Bento Gonçalves - RS
- Quantidade de pontaletes = 250 unidades
- Quantidade de capas = 180 unidades

Código hash provisório

Hash: 9e02e833c2ccff104f7e3daf108e94cadba25b45d84553d175689391ad8b8c50

Minerar

Função Minerar utilizada para encontrar o número “Nonce” de validação do bloco

(a) Bloco gerado com dados criptografados e com código hash provisório

Número aleatório encontrado na validação do bloco

Código hash permanente

Bloco: # 201

Nonce: 7962

Dados:

- Cliente: Indústria de Móveis A
- Código cliente: 12345
- Localização: Bento Gonçalves - RS
- Quantidade de pontaletes = 250 unidades
- Quantidade de capas = 180 unidades

Hash: 000063fb62cf73374aee1bfd27549ca971e50cd92ef28be1213c8338baed4c5

Minerar

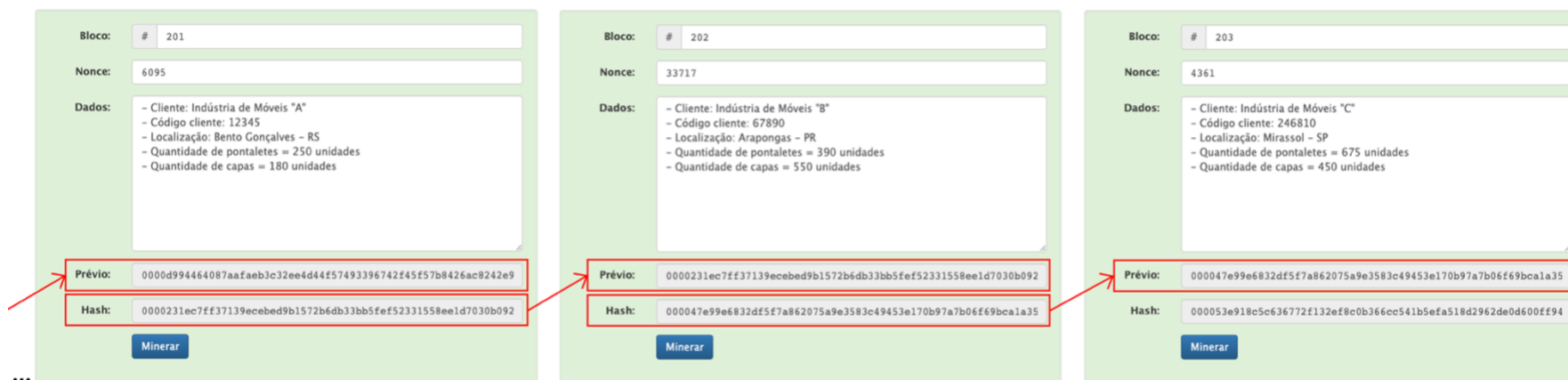
(b) Bloco validado com dados criptografados e com código hash permanente

Fonte: Imagem gerada pelo website Anders Brownworth (2023)

O processo de criação e inclusão de um bloco à rede *blockchain* é composto pelas etapas, a saber: (i) geração de bloco, (ii) validação de bloco e, (iii) consenso de bloco. A primeira etapa (i) de geração de bloco é apresentada na Figura 24a que demonstra os campos iniciais que compõe um bloco gerado quando os dados são enviados para a rede *blockchain*. Nesta etapa os dados enviados são criptografados por meio da função *Hash* que utiliza o algoritmo SHA-256 e geram um código *hash* provisório utilizado para identificar o bloco gerado e que será enviado para todos os nós da rede *blockchain*. Na etapa (ii) os nós da rede trabalham em um processo conhecido de Mineração para decifrar um número nonce do bloco gerado com o objetivo de validar o bloco alterando o código *hash* provisório para um código *hash* permanente que identificará esse bloco na rede *blockchain* (Yang et al., 2019). Na criptografia, um número nonce (do inglês, *number user only once*) é um número arbitrário utilizado apenas uma vez em comunicações criptográficas e em funções *hash* por meio de um protocolo de autenticação para garantir que as comunicações não possam ser reutilizadas em ataques cibernéticos (Tran et al., 2021). Os autores destacam que é possível alterar o nonce para validar novas informações inseridas em um bloco validado no processo de Mineração, diferentemente do código *hash* do bloco validado e que não pode ser alterado. Assim, minerar um bloco é encontrar o número nonce que autentique a comunicação entre duas ou mais partes no qual cada nó da rede *blockchain* precisa resolver um desafio computacional de encontrar o número nonce para poder, em seguida, propor à rede a inserção de um novo bloco validado à cadeia de bloco da rede *blockchain*, de acordo com a Figura 24b (Khan et al., 2022).

Na etapa (iii) o bloco anteriormente validado, aguarda o consenso dos nós para ser adicionado à cadeia de todos os blocos rede *blockchain*, segundo Yang et al. (2019), através de

mecanismos de consenso nos quais os mais conhecidos são Prova de Trabalho (do inglês, *Proof-of-Work* –PoW) e Prova de Participação (do inglês, *Proof-of-Stake* – PoS). Ambos os mecanismos são requisitos para confirmar transações que ocorrem em uma rede *blockchain*, sem a necessidade de um terceiro. Tran et al. (2021) abordam em seu estudo o processo da Prova de Trabalho no qual os computadores conectados à rede *blockchain* realizam uma série de testes criptográficos para verificar se o bloco validado é realmente válido. Assim, segundo os autores, se os testes criptográficos forem positivos e obtiverem o consenso da maioria dos mineradores de dados da rede *blockchain*, o bloco validado é consensado e guarda o seu código *hash* permanente que a partir de agora é ligado ao código *hash* do bloco anteriormente adicionado e, assim sucessivamente, encadeando toda a rede *blockchain* em uma única rede atualizada e distribuída, mas por outro lado este processo demanda um alto consumo de energia elétrica em função da complexidade destes testes criptográficos a realizar (Figura 25). Como opção sustentável a Prova de Trabalho, o mecanismo de consenso Prova de Participação procura incentivar os participantes a ter uma certa quantidade de moedas digitais permitindo-lhes receber ganhos financeiros e incentivos pelo trabalho realizado. A característica mais forte do PoS é oferecer um mecanismo de consenso mais sustentável uma vez que não requer nenhum trabalho computacional intensivo que necessita de equipamentos de *hardwares* potentes para realizar as atividades de mineração gerando alto consumo de energia elétrica como acontece com o mecanismo da PoW.

Figura 25 – O SHA-256 na cadeia de blocos da rede *blockchain Peer-to-Peer*

Fonte: Imagem gerada pelo website Anders Brownworth (2023)

